(Aus der Augenabteilung der kant. Krankenanstalt Aarau.
[Oberarzt: Dr. *A. Vogt.*])

Experimentelle Untersuchungen über Blendungsnachbilder und deren Verhältnis zur Blendungserythropsie.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

hohen Medizinischen Fakultät der Universität Basel

vorgelegt von

Viktor Wydler
aus Affoltern am Albis (Kt. Zürich).

ACAD. LUGD. BAT. BIBL.

BERLIN 1912
VERLAG VON S. KARGER
KARLSTRASSE 15.

Sonderabdruck aus Zeitschrift für Augenheilkunde. Bd. XXVII.

Meinen lieben Eltern

gewidmet.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546706_0082

Inhalts-Verzeichnis.

Seite

I. **Einleitung** 7
II. **Historisches** 7
III. **Kritik der bisherigen Theorien** 18
IV. **Eigene Untersuchungen** 21
1. Einleitung 21
2. Versuchsanordnung 24
3. Unsere Versuche 28
V. **Epikrise** 46
1. Einfluß der Intensität und Dauer des primären Lichtes 47
2. Einfluß der reagierenden Lichtes. Beleuchtung A, B, C, D, E. 47
3. Individuelle Differenzen der Beobachter und Wert des Kontrollauges. 47
4. Einfluß der Mydriasis 49
5. Beobachtungen während der Fixationszeit 49
6. Vergleichung der Beobachtungen bei Benutzung von künstlichem Licht, Wolkenlicht, von Schneelicht und von Licht, das von einer weissen Papier- oder Leinwandfläche reflektiert wird, als primäre Lichtquelle 50
7. Beobachtungen im reagierenden Licht und ohne Abblendungsrohr 51
8. Auffrischung der Nachbilder 51
9. Blendung mit Licht, das durch gelbe Gläser und Schwerflint 0,198 filtriert ist. Blendungsversuche mit ultravioletten Strahlen und reinem Spektrallicht 52
10. Beobachtung des Nachbildes im reagierenden Licht, das durch Erioviridinlösung filtriert wurde . . . 53
11. Rotphase des Nachbildes und die übrigen Phasen. . 54
12. Ist die Erythropsie identisch mit der Rotphase des Nachbildes? 58
13. Die Bedeutung unserer Versuche für die bisherigen Theorien 58
14. Die Bedeutung der Blendungsversuche für die Farbenwahrnehmung 59
VI. **Schlußfolgerungen** 60
Literatur-Verzeichnis 62

I. Einleitung.

Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit dem Studium der Blendungserythropsie. Deren Kenntnis geht auf wenige Jahrzehnte zurück. Mit dem von der Blendung unabhängigen Rotsehen zentralen Ursprungs (z. B. Erythropsie der Aura epileptica) befassen wir uns in dem Nachfolgenden nicht.

Die Untersuchungen wurden auf Anregung und unter Beihülfe von Herrn Dr. *A. Vogt*, Oberarzt der Augenabteilung der kantonalen Krankenanstalt Aarau ausgeführt, dem an dieser Stelle der beste Dank abgestattet sei. Sie bilden eine Fortsetzung seiner eigenen Untersuchungen auf diesem Gebiete. Besonderer Dank gebührt ferner Herrn Professor Dr. *Mellinger*, Direktor des Universitäts-Augenklinik Basel, für das der Arbeit stets entgegengebrachte Interesse. Ebenso danke ich Herrn Professor Dr. *Albrecht Burckhardt*, Direktor des hygienischen Instituts der Universität Basel, für die Überlassung des *Weber*schen Photometers. Ferner fühle ich mich zu Dank verpflichtet gegenüber Herrn Professor *Weber*, Direktor des physikalischen Instituts der Universität in Kiel, der uns in Bezug auf zweckentsprechende Anwendung seines Apparates in liebenswürdiger Weise Auskunft erteilte. Endlich Herrn Professor Dr. *Tuchschmid* in Aarau für seine Beihilfe bei den Blendungsversuchen mit dem Ultraviolett des Sonnenlichts.

II. Historisches über Erythropsie.

In den letzten Jahren wurde über Blendungserscheinungen, Schneeblindheit etc. sehr viel publiziert. Neben *De Chardonnet* kommt *Widmark* (1) das Hauptverdienst zu, die Frage experimentell aufgeklärt und den Nachweis erbracht zu haben, daß diese Erscheinungen zum Teil eine Folge der Einwirkung ultravioletter Strahlen sind.

Eine Erscheinung, die — wie das Erythema solare — durch intensive Strahlung hervorgerufen wird, ist die Erythropsie, und es lag deshalb sehr nahe, auch sie als Wirkung der ultravioletten Strahlen aufzufassen.

Fuchs (2) (1895) verdanken wir die ersten gründlichen Experimente über Erythropsie. Er kam zu der Überzeugung, daß Erythropsie auf der Einwirkung ultravioletter Strahlen beruhe, analog der sog. Schneeblindheit.

Wie aber spätere Untersuchungen (*Vogt* (4) 1908) zeigten, muß Erythropsie von den Erscheinungen der sogenannten Schneeblindheit (*Widmark*) abgetrennt werden, weil sie experimentell noch nie durch ultraviolette Strahlen allein hervorgerufen worden ist, wohl aber leicht durch Licht, das *frei* von ultravioletten Strahlen ist, erzeugt werden kann.

Seit den letzten vierzig Jahren sind von verschiedenen Autoren Fälle von Erythropsie publiziert worden, *darunter* solche, die als Blendungserythropsie aufgefaßt werden müssen. Diese Fälle galten als selten. Meistens handelte es sich um Iridektomierte, Staroperierte oder um Fälle mit Mydriasis.

Es sei der Vollständigkeit halber gestattet, die hierher gehörigen Fälle, welche *Fuchs* erwähnt, kurz zu berühren.

1877 gab *Becker* (5) an, daß 3 bis 5 pCt. staroperierter Personen rotsehend würden. *Galezowski* (6), *Hirschler* (8), *Purtscher* (9) und *Dimmer* (10) machten weitere diesbezügliche Mitteilungen.

Andere Fälle von Erythropsie, die *nicht* zur Blendungserythropsie gerechnet werden dürfen, sondern die *zentralen* Ursprungs sind (Erythropsie als Aura eines epileptischen Anfalls), erwähnen *Robertson* (11), *Hughlings Jackson* (12), *Gowers* (13) und *Bennet* (14). Auch der Fall von religiösem Wahnsinn *Krafft-Ebings* (15) gehört nicht zur Blendungserythropsie, so wenig, wie das von *Charcot* erwähnte Vorkommen von Erythropsie bei Hysterie und Hystero-Epilepsie (16, 17).

Einer weiteren Gruppe von Fällen von Erythropsie, die ebenfalls nicht zur Blendungserythropsie gehören, liegen dioptrische Ursachen zugrunde. Hierher gehört das Rotsehen nach Bluterguß in die brechenden Medien, ferner dasjenige bei Beleuchtung nur eines Auges von der Seite her durch Sonne oder künstliche Lichtquelle, während das andere Auge beschattet ist; so in dem von *Szilli* (18) angeführten Falle.

Ob das Rotsehen bei folgenden Fällen peripheren oder zentralen Ursprungs sei, hält *Fuchs* für noch unentschieden: Rotsehen bei Fieber (*Millingen* (19), bei einer Hiebwunde in der Nähe des Auges (*Berger* 20), bei Atrophie der Sehnerven und gleichzeitiger Atrophie des anderen Auges (*Berger*) (21), bei einem an Migräne leidenden Herrn (*Purtscher*) (22), nach einer durchwachten Nacht (*Hilbert*) (23); ferner im Falle *Valude* (24), bei dem eventuell Atropin-Mydriasis mitspielte, sowie bei einem Patienten mit Papillitis (*Szili*) (25). Hierher gehört der Fall *Greeffs* (27) wo alle Farben rot gesehen wurden. Ferner sind vielleicht hierher zu rechnen zwei Fälle, in denen Rotsehen bei Hypermetropen auftrat (*Purtscher*) (28) und *Fuchs* (29).

Blendungserythropsie wird durch Einwirkung intensiver Lichtquellen auf die Netzhaut hervorgerufen; intensives Tageslicht genügt nach *Fuchs* nicht zur Erzeugung von Rotsehen. Seiner Ansicht nach muß entweder

1. mehr Licht als gewöhnlich die Netzhaut treffen oder
2. die Netzhaut in abnormer Weise auf Licht reagieren.

Dabei ist ad 1 noch zu bemerken, daß

a) eine ungewöhnliche Menge Licht bei *normalem Auge* die Netzhaut treffen kann, oder daß
b) im Auge Veränderungen bestehen können, welche mehr Licht als gewöhnlich bis zur Netzhaut vordringen lassen.

Zu 1a gehört der Fall *Hilberts* (33): Beobachtung einer Sonnenfinsternis, zum Teil mit bloßem Auge, durch einen Astronomen. Dieser sah nachher nebst dem Nachbild der Sonne, daß helle Gegenstände (Wolken, Gasflammen) in zartem Rosa erschienen, welcher Zustand durch mehrere Stunden andauerte. Ferner der Fall desselben Autors, da einer Frau, die Nachts ein Gewitter beobachtete, plötzlich die Ränder der Wolken, die im

Zimmer befindliche Lampe und andere helle Gegenstände karminrot erschienen. Auch der erste ausführlich beschriebene Fall von Erythropsie von *Mackenzie* (34) gehört hierher: Eine alte Dame, die ein Zimmer mit Fenstern, welche auf die See hinausgingen, und das sehr hell gewesen sein soll, bewohnte, bekam jeden Abend gegen Sonnenuntergang Erythropsie.

Bei *Reuß* (38) ist ein Fall *Dimmers* erwähnt, wo ein Auge mit perforierender Wunde der Sklera, aber mit intakter Pupille und Linse, Rotsehen bekam, als gegen Abend der Verband weggenommen wurde.

Noch *Fuchs* glaubt, daß Erythropsie unter gewöhnlichen Umständen recht selten ist. So schreibt er loc. cit. S. 211: „Da nur so wenige Fälle bekannt sind, wo normale Augen durch grelles Licht rotsehend werden, muß man sagen, daß dieses unter gewöhnlichen Umständen keine Erythropsie veranlaßt, diese wäre sonst eine alltägliche Erscheinung, da wir uns doch so oft, z. B. im Hochsommer, grellem Licht aussetzen. Es gibt aber eine Art von Blendung, welche bei den meisten Menschen mit Sicherheit Erythropsie hervorzurufen vermag; dies ist die Blendung durch das vom Schnee zurückgeworfene Sonnenlicht, was ich kurzweg als Schneelicht bezeichnen werde."

Fuchs erwähnt dann die von *Schulek* (39) beobachtete Erythropsie, die bei längerem Gehen über Schnee anläßlich einer Besteigung des Großglockners entstanden war. Noch auffälliger zeige sich die anläßlich von längerem Gehen über Schnee auch von *Fuchs* und anderen Touristen beobachtete Erscheinung, wenn man nach der Schneewanderung in einen weniger erleuchteten Raum, eine dunkle Hütte eintrete.

Pflüger (40) hat eine ähnliche Beobachtung gemacht von Erythropsie bei einem Menschen mit normalen Augen (ohne Erweiterung der Pupille).

Die Mehrzahl der Mitteilungen betrifft nach *Fuchs* Personen, die mit Iridektomie an Katarakt operiert wurden [*Carreras* (41), *Galezowski* (42, 43), *Katzaurow* (44)]. Die meisten Staroperierten geben nur auf Befragen an, daß sie rot sehen, wie schon *Fuchs* erwähnt. In diesen Fällen handelt es sich meist um Aphakie *mit* gleichzeitiger Vergrößerung der Pupille durch Iridektomie. Daneben sind auch Fälle von Erythropsie beschrieben, wo bloß Aphakie bestand: *Purtscher* (45), *Dimmer* (10), *Marbourg* (46) und *Beaumont* (47), ferner Fälle, wo bei vorhandener Linse Pupillenerweiterung durch Kolobom (angeborenes oder operatives) bestand: *Meyhöfer* (48), *Steinheim* (49), *Berry* (50), *Dufour* (51). Das Auftreten von Erythropsie bei Pupillenerweiterung durch Mydriatica erwähnen *Hilbert* (52) (mit Duboisin im Auge), *Mayerhausen* (53) (mit Atropin im Auge) oder infolge Einnehmens von Hyoscyanidpräparaten *Patouillet* (54) und *Szokalski* (55).

Fuchs selbst bekam, wenn er zu Versuchszwecken seine Pupillen durch Homatropin erweitert hatte, beim Eintritt von der Straße in ein ziemlich dunkles Stiegenhaus öfters deutliche, wenn auch nur schwache Erythropsie. Ähnliches soll *Koster* an sich beobachtet haben.

Gegenüber diesen Fällen, bei denen vermehrter Lichtzutritt zum Auge als Ursache der Erythropsie anzuschuldigen ist, werden von *Simi* (56), *Reuß* (38) und *Vetsch* (57) Fälle beschrieben von Erythropsie bei Trübungen der Medien (Glaskörper, Linse).

Trübungen der Medien, verbunden mit Pupillenerweiterung resp. Colobom erwähnen *Meyhöfer* (48) und *Steinheim* (49), *Mayerhausen* (53), *Fuchs* und *Purtscher* (45).

Als Ursache für das Auftreten von Erythropsie werden Aufregungszustände angegeben von *Valude* (24): Kongestionen nach dem Essen, *Hilbert* (33): starker Ärger, *Dimmer* (10): Erhitzung durch schwere Arbeit, Tanzen und Lachen, *Reuß* (38): durch Hustenanfälle. In einem Falle von *Marbourg* (46) wird der Eintritt der Menses angeschuldigt.

Fuchs spricht die Ansicht aus, daß Aufregungszustände für sich allein keine Erythropsie hervorzurufen vermögen, abgesehen etwa von einer Erythropsie zentralen Ursprungs, wie eine solche *van Millingen* (19) erwähnt. Eine Disposition soll in vereinzelten Fällen Hemeralopie gebildet haben, ferner die Gravidität. Einen Fall mit Herabsetzung des Lichtsinnes führt *Dimmer* an (zitiert bei *Reuß*) (38). Über Fälle von Hemeralopie bei Erythropsie berichtet auch *Krienes* (60, 70).

Hirschler (8), an sich selbst iridektomiert, gibt an, während der Wochen, da er an Erythropsie litt, hochgradig hemeralopisch gewesen zu sein. Erythropsie mit Hemeralopie bei Gravidität beschreibt *Kubli* (59), daneben einen zweiten Fall von Erythropsie bei Gravidität, ohne Hemeralopie. *Fuchs* nimmt die leichte Erschöpfbarkeit der Netzhaut bei Gravidität als Ursache an.

Nach der Auffassung von *Fuchs* würde also Erythropsie auftreten können

1. als Folge vermehrten Lichtzutrittes zum Auge und
2. als Folge einer besonderen Disposition des lichtempfindenden Organs (Netzhaut).

Im allgemeinen wird angegeben, daß das Rotsehen dann leichter eintritt, wenn die Befallenen aus hellem Lichte in geringere Beleuchtung treten. In vielen der beschriebenen Fälle stellt sich die Erythropsie des Morgens nach dem Erwachen ein, um dann nach kurzer Zeit zu verschwinden.

Während die *Farbe* des Rotsehens von *Fuchs* und anderen als purpurrot bezeichnet wird, bezeichnen sie wieder andere als gelbrot, mennige, lila, karmin u. s. w. (vergleiche insbesondere die neuere Arbeit von *v. Reuß* (61).

Von den meisten Autoren wird die Erythropsie als ein einseitiges Phänomen bezeichnet. Eine Ausnahme macht u. *A. Hilbert* (52).

Partielle Erythropsie (*Hemierythropsie*), wobei nur ein Teil des Gesichtsfeldes rot erscheint, beschreiben *Benson* (62), *Valude* (24). In *Valudes* Fall wurde in der oberen Hälfte rot, in der unteren gelb gesehen. Ähnliche Erscheinungen beobachtete *Fuchs* bei Blendungserythropsie (verschieden starke Ausblendung der Netzhauthälften). Eine ähnliche Erklärung findet der Fall *Purtschers* (9): intensiveres Rot der Erythropsie in *der untern Gesichtshälfte.*

Die Einzigen, welche *vor Fuchs* Erythropsie *experimentell* erzeugten, waren *Dobrowolski* (38) und *Schulek* (53).

Dobrowolski (63) fixierte nach Erweiterung der Pupille mit Atropin den Rand der Sonne oder eine weiße Wolke und beobachtete nachher Erythropsie. Er sah nach der Blendung seines Auges alle Gegenstände mehr in violetter, als in Purpurfarbe, nur gelbe Gegenstände schienen ihm karminrot. Diese Erythropsie dauerte bis zu einer Viertelstunde oder länger. Er erklärte sich die Erythropsie als das negative Nachbild derjenigen Lichtstrahlen, welche, von der leuchtenden Fläche ausgehend, ins Auge fallen.

Schulek (39) bedeckte das Sonnenspektrum bis auf den jenseits der Linie G gelegenen Teil (somit ungefähr das ganze sichtbare Spektrum) und fixierte den ganzen ultravioletten Teil während einer Viertelminute oder länger. Blickte er darauf in ein anstoßendes, stark verdunkeltes Zimmer, so sah er in demselben befindliche weiße Gegenstände rot; dasselbe war der Fall, wenn er in dem hellen Zimmer einen weißen Gegenstand durch die röhrenförmig zusammengelegte Hand betrachtete.

Dieses Rotsehen verhielt sich total anders, als das durch Schneelicht erzeugbare. Wenn nur *ein* Auge dem Ultraviolett exponiert wurde, sahen trotzdem stets *beide* Augen *rot*. Ebenso genügte Belichtung eines kleinen Netzhautbezirkes, um die ganze Netzhaut und gleichzeitig die des anderen Auges rotsichtig zu machen. Die von *Schulek* beschriebene Empfindung ist demnach von der Blendungserythropsie grundverschieden und gehört nicht hierher.

Fuchs spricht die Ansicht aus, daß diese Versuche überhaupt nicht geeignet seien, Erythropsie hervorzurufen.

Birch-Hirschfeld (64) konnte durch Fixieren des Ultraviolett allein eine ähnliche Erscheinung, wie *Schulek*, an sich nicht erzeugen. Dennoch neigt er zu der Auffassung, daß das Ultraviolett für die Entstehung der Erythropsie von wesentlicher Bedeutung sei: *Schulek*, *Fuchs*, *Birch-Hirschfeld* stützen sich in ihrer Theorie darauf, daß Rotsehen einerseits durch sehr intensive Lichtwirkung zustande kommt, daß anderseits dieses Licht einen erhöhten Gehalt an Ultraviolett aufweist. Insbesondere sei bei Staroperierten das zur Netzhaut gelangende Licht reicher an Ultraviolett infolge Wegfalls der Linse, weshalb bei Aphakischen das Rotsehen so leicht zustande kommen könne. Im Schneelicht ist das Überwiegen der ultravioletten Strahlen eine schon

lange nachgewiesene Tatsache. Die Annahme, daß die ultravioletten Strahlen die Erythropsie erzeugen, schien auch dadurch gestützt, daß als Vorstufe der Blendung durch intensives, elektrisches Bogenlicht mehrfach Rotsehen beobachtet wurde. Dieses Licht zeichnet sich bekanntlich durch einen hohen Gehalt an Ultraviolett aus.

Auf welche Weise diese unsichtbaren Strahlen das Rotsehen erzeugen sollten, blieb allerdings unerklärt.

Vogt teilt dem Verfasser folgendes mit: Es wird mit einem Flintglasprisma in einem dunklen Zimmer das Spektrum einer Bogenlampe von etwa 1200 Kerzen entworfen. Begab sich Vogt mit dem einen Auge in den Bereich des Ultraviolett, so nahm er einen leichten bläulichen Schimmer wahr, der kein Blendungsgefühl erzeugte. Auch nach einer Fixationsdauer von etwa einer Minute konnte an dem benützten Auge keine Erythropsie beobachtet werden.

Fuchs wurde bei seinen erwähnten Versuchen mit Schneelicht unterstützt von *Koster*, *Lohde*, *Walser*, *Judaich* und *Sachs*. Als geeigneter Ort zur Erzeugung der Erythropsie wurde ein 1500 m hoher Berg bei Wien gewählt und daselbst in den Wintern 1894/95 und 1895/96 experimentiert, und zwar *ohne* Erweiterung der Pupille. Es handelte sich also bei diesen Experimenten nicht um Versuche „im Hochgebirge", wie *Schanz* angibt.

In der Ebene gelang es *Fuchs* nur nach Erweiterung der Pupille Erythropsie zu erzeugen.

Ohne Pupillenerweiterung hat in der *Ebene* zum erstenmal *Vogt* (69) experimentell Erythropsie erzeugt und gezeigt, daß die Erythropsie in geringerem Grade eine sehr häufige Erscheinung ist, die wir aus Gewohnheit nicht zu beachten pflegen. Sie tritt auf bei Aufenthalt nicht nur auf sonnenbeschienenen Schneefeldern, sondern, wenn auch in geringerer Intensität, bei jedem intensiveren Tageslichte. Ihr Vorhandensein läßt sich kontrollieren dadurch, daß man das eine Auge vom Lichte abschließt und als Kontrollauge benützt.

Bei den oben erwähnten Versuchen von *Fuchs* in Verbindung mit *Koster*, *Lohde*, *Walser*, *Judaich* und *Sachs* hielt man sich „längere Zeit" auf einer sonnenbeschienenen Schneefläche auf. Trat man hierauf in einen dunklen Raum, so stellte sich die Erythropsie ein. Nach Ablauf derselben genügte ein kürzerer (zehn Minuten oder weniger dauernder), erneuter Aufenthalt im Freien, um bei der Rückkehr in den dunklen Raum die Erythropsie wieder hervorzurufen. Wurden die Versuche durch einige Stunden fortgesetzt, so war Erythropsie schwerer zu erzeugen, nach längerer Ruhepause dagegen wieder leichter. Die Versuche gelangen vormittags besser, als nachmittags.

In der Ebene konnte *Fuchs* nach Erweiterung der Pupille (mit Homatropin) durch Fixieren von sonnenbeschienenem Schnee während „längerer Zeit" auch Erythropsie erzeugen. Es pflegte schon auf der Schneefläche eine zartrosa Färbung aufzutreten. Er machte die Beobachtung, daß das Rotsehen beim Blicken auf die Schneefläche in langsam wellenförmig ansteigenden und abklingenden Phasen eintrat; es erreichte ein gewisses Maximum, verschwand, oder machte einer zartgrünen Färbung Platz, die dann wieder in Rot überging. Ferner wurde beobachtet, daß rötlich gefärbte Gegenstände die Erythropsie am deutlichsten zeigen, so z. B. das Gesicht eines Begleiters.

Als geeignetes Objekt zum Studium der Erscheinung bezeichnet *Fuchs* ein Schachbrett.

Messungen der Schneehelligkeit oder der Helligkeit im Beobachtungsraume machte *Fuchs* nicht. Auch fand eine Definition der Farben an Hand einer Skala nicht statt.

Fuchs beschreibt seine Wahrnehmungen nach dem Eintritt vom beleuchteten Schneefeld in die dunkle Hütte folgendermaßen:

„Im ersten Augenblick sieht man fast gar nichts, da das Auge für die geringe Beleuchtung nicht adaptiert ist. Sobald man aber anfängt, genauer zu unterscheiden, bemerkt man, daß die schwarzen Felder der Schachbrettfigur grün aussehen; nach und nach wird das Grünsehen recht intensiv.

Bald nachdem die schwarzen Felder sich grün gefärbt hatten, beginnen auch die weißen Felder einen eben wahrnehmbaren grünen Ton zu zeigen. Das Grün, welches in dieser Phase gesehen wird, neigt gegen das Gelbgrün hin.

Das Grünsehen wird durch Veränderung der Beleuchtung beeinflußt. Steigert man dieselbe, indem man die Schachbrettfigur etwas mehr ans Licht bringt, so erscheinen die Felder rein weiß und schwarz; bringt man hierauf das Schachbrett wieder mehr ins Dunkle, so erscheint es etwas stärker grün, als früher.

Das Grünsehen geht sehr bald in Rotsehen über; nur wenn die Blendung durch das Schneelicht sehr gering war — z. B. bei bewölktem Himmel, wo eine Erythropsie überhaupt nicht eintritt —, wird oft nur ein leichtes Grünsehen bemerkt, welches rehr rasch wieder verblaßt."

Die Phase des Grünsehens zu beobachten gelingt nach *Fuchs* bei manchen Personen nicht. Sie dauert etwa 15 Sekunden.

Bis die Erythropsie auf dem Schachbrett überall vorhanden war, dauerte es bei *Fuchs* eine Minute, vom Aufhören des Fixierens an gerechnet. Dann wurde sie noch intensiver, um am Ende der zweiten Minute das Maximum zu erreichen und blaßte dann rasch ab, so daß nach drei, höchstens vier Minuten wieder alles seine natürliche Farbe hatte.

Einige Beobachter sahen der Purpurfarbe regelmäßig Orange vorausgehen; bei geringen Graden von Blendung sahen sie überhaupt nur Orange. Auch beim Abklingen der Erythropsie erfolgte der Übergang in Weiß oft durch Orange, zuweilen auch durch Zitronengelb.

Nach *Fuchs* wird Erythropsie durch Steigerung der Helligkeit begünstigt. Durch vorübergehendes Schließen des Auges wird sie verstärkt. *Fuchs* beobachtete, daß im Zentrum des Gesichtsfeldes im Bereich von 3—5° die Erythropsie vollständig fehlte, fand aber später, daß bei intensiver Erythropsie mit Pupillenerweiterung auch im Zentrum rot gesehen werden kann, doch nur ausnahmsweise so intensiv, wie in der Peripherie. *Judaich* hat im Zentrum überhaupt nie Rot sehen können. Das Rotsehen im Zentrum fehlte bei allen Versuchspersonen immer, wenn die Erythropsie keinen hohen Grad erreicht hatte oder wenn sie im Abklingen begriffen war.

Mit der stenopäischen Lücke wurde das Verhalten im Zentrum studiert, indem durch diese weißes Papier oder Schneefläche fixiert wurde. Dabei war die *Purkinje*sche Aderfigur mit besonderer Deutlichkeit wahrzunehmen; die gefäßlose Stelle trat sehr scharf hervor und ihr Durchmesser wurde auf ca. 0,4 mm bestimmt. Es konnte ein verschiedenes Verhalten von Zentrum und Peripherie festgestellt werden: die zentralen Bezirke erschienen durchschnittlich grün, die peripherischen rot. Die periphere Ausdehnung der Erythropsie, mit Perimeter (weiße Marke von 1.2 cm) gemessen, betrug temporal 50 bis 60°, nasal 25—35°. Weiter peripher wurden weiße und rote Marke als normal erkannt. In einigen Fällen fällt die Erythropsiegrenze mit der Weißgrenze zusammen. Die Grenzen wechseln gewöhnlich, aber nicht immer, im Verlaufe der Erythropsie, schieben sich im Ansteigen hinaus, rücken im Abklingen herein.

Ringförmige Erythropsie mit grünem Zentrum wurde einmal von *Fuchs* beobachtet, lange Zeit nach Verschwinden der Erythropsie.

Oft fand *Fuchs* die untere Gesichtshälfte intensiver rot, entsprechend der Blendung: im schwächer ausgeprägten Erythropsiegebiet des Gesichtsfeldes erschien die weiße Marke häufig orange oder zitronengelb.

Was die *Farbe* der Erythropsie anbelangt, so vergleicht sie *Fuchs* mit dem Rot einer verdünnten Fuchsinlösung, der eine Spur Eosinlösung zugesetzt ist.

Zum Zwecke von Helligkeitsgleichungen verschiedener Farben während der Erythropsie verwendete *Fuchs* zwei Wollskalen:

1. Purpurwolle in 15 Helligkeitsabstufungen und
2. komplementäre grüne Wolle in ebenfalls 15 Helligkeitsabstufungen.

Während der Erythropsie erschienen die hellen Nuancen der roten Wolle gesättigter rot, ganz dunkle grün, von den grünen Wollen ganz dunkle grün, mittlere grau, helle sogar rot. Diese Angaben betreffen den zentralen Farbensinn. Was den peripheren Farbensinn anbelangt, so ergaben die Unter-

suchungen von *Fuchs*, daß die Erythropsie in der Peripherie stärker ist, als im Zentrum. *Krienes* (59) gibt an, daß durch Blendung ein gewisser Grad von Blaublindheit eintrete, infolge deren die Blaugrenze innerhalb der Rotgrenze hineinrücke; *Fuchs* konnte dies nicht bestätigen.

Nachdem *Fuchs* die Erythropsie so studiert hatte, veränderte er das auf die Netzhaut einwirkende (primäre) Licht durch Vorsetzen verschieden *gefärbter Gläser* (in den vier Grundfarben) von unbekannter, nach seinen Angaben jedenfalls von stark verschiedener quantitativer Lichtdurchlässigkeit und unbekannter chemischer Zusammensetzung. Es wurden *beide* Augen dem Schneelichte ausgesetzt, das eine mit, das andere ohne Glas. Bei dem Versuche mit hellgrünem Glase trat auf dem freien Auge die Erythropsie ¼ bis ½ Minute später, aber desto intensiver auf, während sie auf dem vorher mit Glas bedeckten Auge sich sofort zeigte, aber rasch verschwand (*Fuchs* faßt dies nicht als Erythropsie auf, sondern als das Sehen des komplementären Nachbildes des gelbgrünen Glases).

Mit purpurnem Glase konnte *Fuchs* nur ein gelbgrünes Nachbild, keine Erythropsie erzeugen. (Es ließ sehr wenig Licht durch und war deshalb ungeeignet.)

Auch mit blauen und gelben Gläsern erzeugte *Fuchs* Erythropsie, mit blauen mehr Gelbrotsehen, mit gelben mehr Blaurotsehen; er faßt das als eine *Vermischung der Erythropsie* mit dem Nachbild auf.

Aus diesen Versuchen schließt *Fuchs* Folgendes:

Die Erythropsie ist in ihrem Farbenton unabhängig von der Farbe des einwirkenden Lichtes.

Als Differenz zwischen Nachbild und Erythropsie erwähnt *Fuchs* folgende Punkte:

1. Das Nachbild tritt sofort, ohne ein Vorstadium des Grünsehens auf.
2. Es dauert viel kürzere Zeit und verschwindet ziemlich plötzlich, nicht langsam.
3. Die Purpurfarbe ist im Zentrum am stärktsen und jenseits von 10° kaum mehr wahrzunehmen.

Fuchs machte sodann *Versuche mit abnormen Augen* und zwar *Versuche über Erythropsie Aphakischer.*

Bei *allen* ließ sich Erythropsie erzeugen und es gelang dies beim aphakischen Auge leichter, als beim normalen.

Die wesentlichsten Punkte, wodurch sich die Erythropsie der Aphakischen auszeichnet, sind nach *Fuchs*:

1. Keiner beobachtete vorausgehendes Grünsehen. *Fuchs* erklärt das durch die Schwierigkeit der Beobachtung.
2. Die Erythropsie tritt nach dem Übergange vom Freien ins Zimmer erst nach ¼ bis ½ Stunde auf, dauert aber dafür:
3. stundenlang oder den ganzen Tag und wiederholt sich leicht an folgenden Tagen. Besonders charakteristisch ist somit lange Dauer und häufige Wiederkehr.
4. Zentrum und Peripherie verhalten sich nicht typisch, bald sind beide gleich rot, bald das Rot im Zentrum ausgesprochener, bald umgekehrt.
5. Die Farbe ist dieselbe, wie bei normalen Augen[1]).

Fuchs hat auch *Versuche über Erythropsie abnormer, aber linsenhaltiger Augen angestellt.*

Ein Grünblinder, Herr Dr. L., bekam die typische Erythropsie. Bei einem angeborenen Fall von Hemeralopie trat deutlich, wenn auch nicht sehr intensiv, Erythropsie auf.

Fuchs machte ferner *Versuche über den Lichtsinn aphakischer Augen.* Er war herabgesetzt, woraus *Fuchs* schließt, daß diese Augen auch schon bei gewöhnlichem Tageslicht in einem gewissen Zustand der Blendung sich befinden.

Fuchs hat folgende *Erklärung der Erythropsie* gegeben:

Das Nächstliegende wäre, Grünsehen und Rotsehen als Nachbilder des vom Schnee reflektierten Tageslichtes aufzufassen. Er sucht deshalb die

[1]) Vergleiche *von Reuß* (61).

Farbe des primären Lichtes mit Hülfe der Nachbildmethode festzustellen. Durch ein schwarzes Rohr fixiert er die Schneefläche für einen Moment und erhält zunächst ein halbviolettes Nachbild. Er hält dieses für das Positive, da schwarze Gegenstände, die sich auf der weißen Oberfläche befinden, im hellvioletten Nachbild dunkel erscheinen. Er schließt daraus, daß die Farbe des Schnees hellviolett ist und uns nur weiß erscheint, weil unsere Netzhaut (nach *Brücke*) (72) das dominierende Licht immer für weiß hält. Er erklärt diese Färbung durch das Dominieren des kurzwelligen Lichtes auf der Schneefläche.

Das Grünsehen faßt er als komplementäres Nachbild des Tageslichtes auf, doch bemerkt er, daß es dann nicht auf dunklem Grunde, sondern besonders deutlich auf hellem Grunde auftreten müßte.

Daß die Erythropsie nicht das *gleichgefärbte Nachbild* des Schneelichtes sein kann, schließt *Fuchs* aus Folgendem:

1. weil das gleichgefärbte Nachbild nicht bei offenem, sondern bei geschlossenem Auge resp. auf dunklen Gegenständen auftreten müßte. Die Erythropsie ist aber am deutlichsten an hellen Objekten;
2. weil das gleichgefärbte Nachbild nur kurze Momente dauert;
3. weil die Erythropsie mittelst Blendung durch lila Glas nicht verstärkt wird, was man in diesem Falle erwarten sollte;
4. weil das gleichgefärbte Nachbild am stärksten ist bei sehr kurzer Einwirkung des primären Lichtes (*Helmholtz*, Optimum $^1/_3$ Sekunde) (86).

Andere Autoren, so *Dobrowolski*, hielten die Erythropsie für das komplementär gefärbte Nachbild. Dagegen sprechen nach *Fuchs* die oben angeführten Differenzen zwischen Nachbild und Erythropsie. Außerdem müßte das Schneelicht grün sein. Er schließt daraus „es ist also für die Erythropsie keine passende Erklärung als Nachbild zu geben."

Fuchs zitiert den *Fechner*schen Versuch: Fixieren eines von der Sonne beschienenen weißen Papiers. Während der Fixation wird dasselbe gelb, nach kurzer Zeit blaugrau und zuletzt rot-violett oder rot, welche Farbe es dann dauernd beibehält. Er bestätigt diese Beobachtung. Blickt man von dem sonnenbeschienenen Papiere auf ein im Schatten gehaltenes größeres weißes Papier, so erscheint dieses zuerst grau mit Stich ins Grünliche oder Bläuliche oder Violette, bald aber rot und unter Zunahme der Helligkeit purpurn, um wieder zu erblassen und endlich zu verschwinden. Bringt man das Blatt während der Purpurfarbe in die Sonne, so verschwindet die Farbe, außer wenn das Nachbild ganz besonders intensiv ist. Auffrischung des erblassenden Nachbildes kann durch momentanes Schließen der Augen hervorgebracht werden.

Fuchs findet, daß diese im Nachbild beobachteten Erscheinungen in vielen Punkten denen in der Erythropsie ähnlich sind. Er bezeichnet diese Nachbilder, weil von den eigentlichen Nachbildern verschieden, als Blendungsnachbilder[1]), und gibt folgende Differenzen zwischen diesen Blendungsnachbildern und Erythropsie an: Eine weiße Marke im Zentrum erschien intensiver rot, als eine solche in der Peripherie.

Zusammen mit *Judaich* machte *Fuchs* folgende Versuche:

Nach beendigter Schneeblendung trat die Versuchsperson in einen dunklen Raum, schloß das Auge und bedeckte dasselbe überdies mit einem Tuche. Nun wurde der Ablauf des Blendungsbildes bei geschlossenem Auge studiert: Sofort war der zentrale Teil grün, darum herum erschienen violette Wolken, dann verschwanden diese Farben, das Gesichtsfeld wurde dunkel mit unbestimmten grauen Flecken. Bei momentanem Öffnen der Augen trat anfangs keine Erythropsie auf, dann nahm sie jedoch den gewöhnlichen Verlauf. Sie war noch vorhanden zu einer Zeit, wo das Gesichtsfeld bei geschlossenem Auge bereits farblos war.

Als Differenz der *Blendungsbilder* von den *Nachbildern* bezeichnet er folgende:

1. Die Blendungsbilder sind in ihrer Farbe von farbiger Beimischung zum primären Lichte unabhängig.

[1]) Von *Purkinje* wurden sie schon als Blendungsbilder bezeichnet.

2. Bei offenem und geschlossenem Auge treten keine gleichzeitigen Komplementärbilder auf.

Sodann *betont* er die Differenz zwischen Blendungsbildern und Erythropsie im Verhalten des Zentrums. *Aubert*, *Purkinje* (87), *Adamück* und *Woinaw* hatten gefunden, daß die Nachbilder um so weniger intensiv sind, je mehr nach der Peripherie zu sie liegen und daß sie auch kürzere Zeit dauern, als die zentralen.

Fuchs erzeugte ferner gleich- und komplementär-gefärbte Nachbilder mit Hülfe eines mehrfach durchlochten, schwarzen Schirmes, der vor einer Glühlampe aufgestellt war. Das Nachbild des zentralen Lichtes verschwand regelmäßig früher, als dasjenige des peripheren, sofern das periphere sehr nahe bei dem zentralen lag. War dagegen das periphere weiter vom Zentrum entfernt (zwischen 5 bis 20°), so war das periphere erst später wahrnehmbar, verschwand bald früher, bald später, als das zentrale.

Fuchs bezeichnet diese Differenzen als eine „auffallende Abweichung vom Verhalten der Erythropsie, welche sonst ganz mit den Blendungsbildern auf hellem Grunde übereinstimmt."

Er lehnt eine Erklärung der Blendungsbilder nach der *Helmholtz*schen und *Hering*schen Theorie ab, da eine solche nichts anderes wäre, als eine Umschreibung der Tatsachen im Sinne dieser Theorien, und macht den Versuch, *die Erythropsie ebenso, wie die purpurgefärbten Blendungsbilder als Sichtbarwerden des Sehpurpurs zu erklären.*

Einen Grund, der gegen diese seine Theorie spricht, führt er selber an, nämlich daß der Sehpurpur in der Macula lutea fehlt. (Er nimmt aber an, daß vielleicht im Gebiet der Macula lutea die Pigmentepithelzellen und deren Protoplasmafortsätze purpurhaltig sind und auf diese Weise die Zapfen seitlich rotes Licht empfangen).

Einen zweiten Grund gegen seine Theorie sieht er darin, daß die Stäbchen als die Vermittler der Farbenwahrnehmung betrachtet werden müßten, was allerdings zweifelhaft sei und von *Kries* (103) und *Parinaud* (102) bestritten werde.

Fuchs vermutet, daß die *ultravioletten Strahlen* die Hauptursache der Erythropsie seien und führt folgende Gründe an:

1. Das Auftreten von Erythropsie im Gebirge bei Schneelicht.

2. Das Auftreten von Erythropsie bei Aphakischen. (In beiden Fällen ist das Ultraviolett des auf die Netzhaut gelangenden Lichtes stark vermehrt.)

Als klinische Stützpunkte dafür, daß das Sichtbarwerden des Sehpurpurs die Erythropsie bedinge, führt er folgende an:

1. Die Farbe.

2. Beobachtungen von *Ewald* (73), *Tait* (24) und *Boll* (75), welche des Morgens beim Erwachen eine Andeutung des eigenen Sehpurpurs entoptisch gesehen haben wollen.

Nämlich *Ewald* sah im ersten Augenblicke nach dem Erwachen nach Aufschlagen der Augen auf der Zimmerdecke einen gelben Fleck, der Macula entsprechend, und um den gelben Fleck einen rosafarbenen Hof.

Tait bemerkte beim Aufschlagen der Augen den roten Hof um eine Gasflamme, welche er fixierte.

Boll sah, wenn er des Morgens nach dem Erwachen die Augen öffnete und rasch wieder schloß, das ganze Gesichtsfeld intensiv rot, dabei die *Purkinje*sche Spinngewebsfigur und die rostfarbene Macula.

3. Nach *Kühne* bildet sich der Sehpurpur so, daß das Sehgelb in Orange, dann in Rot, dann in Purpur übergeht. *Fuchs* meint, vielleicht erkläre dies, daß mehrere Versuchspersonen die Erythropsie mit einer Orangefärbung sich entwickeln sahen.

4. Gelbgrün bleicht nach *Kühne* den Purpur am stärksten, violett am wenigsten; entsprechend verhindert gelbgrünes Glas die Entstehung von Erythropsie am wenigsten, violettes am meisten.

5. Bei Erythropsie erscheint das Spektrum zu beiden Seiten der Linie F grau, der Sehpurpur absorbiert die betreffenden Strahlen (bei F, bei einer Wellenlänge von 500 $\mu\mu$) am besten (*König* (77), *Köttgen* und *Abelsdorff* (78).

6. Ähnliche Erscheinungen, wie bei Erythropsie erhält man durch Vorsetzen eines purpurnen Glases vor das Auge (Versuche mit grüner Wolle).

Nach und vor *Dobrowolski*, *Schulek* und *Fuchs* haben sich noch andere Autoren mit dem Studium oder doch mit der Theorie der Erythropsie befaßt.

Schulek, *W.* (39), (1895) meint, daß die Erythropsie den Regenerationszustand der rotgrünen Sehsubstanz darstelle, nachdem sie durch einen photo-chemischen Reiz (ultraviolette Strahlen) aufgebraucht worden sei.

Snellen (79) (1896) ist der Ansicht, daß die Erythropsie zugeschrieben werden müsse dem Einflusse farbigen Lichtes auf eine bestimmte Stelle der Netzhaut; die anderen Netzhautstellen perzipierten unter diesen Bedingungen die Komplementärfarbe auf Grund des Simultankontrastes. (Nagels Jahresberichte, Ref. v. Michel.)

Koster (80) (1899) hat gefunden, daß eine Lichtquelle, welche sehr peripher im Gesichtsfelde des untersuchten Auges steht, ein helles, rotes, verkehrtes Bildchen ca. 10 mm vom Limbus corneae entfernt bildet: prominierende, mydriatische Augen zeigen es am leichtesten. (Dasselbe ist ein Jahr später von *Drusault* in den Arch. d. Ophth. beschrieben worden.) *Koster* meinte anfänglich, daß es seine Entstehung Lichtstrahlen verdanke, welche zwischen Iris und Linse durchgehen sollten; dies ist aber nicht der Fall, es wird gebildet von Strahlen, welche durch die Linse hindurchtreten, denn das Bildchen fehlt bei reifer Katarakt. Aus der Beobachtung des Bildchens geht hervor, daß bei starker Beleuchtung des Auges die Netzhautperipherie mit rotem Licht bestrahlt wird. Diese Tatsache wurde einer Hypothese über die Erythropsie zugrunde gelegt: *Letztere sollte* nach Beleuchtung der Peripherie durch Kontrast im Zentrum der Netzhaut entstehen. (Nagels Jahrb., Ref. *Schoute.*)

Birkhoff (87) (1899) zeigte in Gemeinschaft mit *Koster*, daß die von letzterem aufgestellte Hypothese zur Erklärung der Erythropsie nicht haltbar ist. Wenn man nur solche Strahlen, welche der Gesichtslinie parallel sind, durch ein enges Rohr durchläßt, wird trotz Abblendung der peripheren Strahlen Erythropsie über dem ganzen Gesichtsfelde wahrgenommen. Auf Beleuchtung der Peripherie folgt nur dann Erythropsie, wenn das dunkle Zentrum nicht zu sehr ausgedehnt ist. Lokale periphere Beleuchtung ist von lokaler Erythropsie gefolgt. *Snellen* (79) hat die Erythropsie zu erklären versucht durch (rotes) Licht, welches durch Lider und Augenhüllen hindurchgetreten ist und von rotem Lichtscheine zentral durch sukzessiven Kontrast im Halbdunkeln gefolgt wird. Da eine Bedeckung der Lider mit einer für Licht absolut undurchlässigen, schwarzen Schicht der Erythropsie durch aus nicht vorbeugt, läßt diese Theorie im Stich. (Nagels Jahresber. Ref. *Schoute.*)

Osswald (82) (1900) hat an seinem eigenen, wegen hochgradiger Myopie operierten Auge, sowie an zehn anderen Fällen Beobachtungen über die bei *Aphakischen* häufig vorkommende *Lichtsinnstörung* und *Erythropsie* angestellt. Es zeigte sich, daß in der Regel auf dem operierten Auge eine gewisse Hemeralopie bestand, die vor der Operation nicht vorhanden war und auf dem zweiten, nicht operierten Auge fehlte. Ohne vorausgegangene, besondere Dunkeladaptation betrug die Empfindlichkeit des aphakischen Auges am *Förster*schen Photometer gemessen etwa $^1/_{10}$ der des anderen Auges; nach etwa 15 Minuten Dunkeladaptation indessen hatte das operierte Auge das andere fast eingeholt (Empfindlichkeit ca. $^1/_2$). Es handelt sich somit nicht um eine wirkliche Hemeralopie im gewöhnlichen Sinne mit dauernd erhöhter Reizschwelle im Dämmerungssehen, sondern um eine bloße Verzögerung der Adaptation in ihren ersten Stadien unmittelbar nach dem Hell-Aufenthalt. Diese erklärt sich aus dem stärkern Verbrauch der zum Dämmerungssehen notwendigen Sehstoffe infolge Wegfalls der Absorption kurzwelliger Strahlen in der Linse. Verfasser denkt, wie mehrere andere Autoren, hierbei besonders an *ultraviolette* Strahlen. Diese letzteren werden auch für die Entstehung der Erythropsie verantwortlich gemacht. Das Wesen der Erythropsie vermag Verfasser trotz vieler Beobachtungen nicht zu erklären, für sämtliche vorhandenen Hypothesen bestehen Schwierigkeiten, auch für die *Fuchs*sche, nach der es sich um entoptische Wahr-

nehmung des sich regenerierenden Sehpurpurs handelt." Hiermit ist das einigermaßen regellose Auftreten von Erythropsie-Perioden, sowie die lange Dauer der einzelnen Perioden schwer vereinbar, ferner besonders die vom Verfasser konstatierte Tatsache, daß die Erythropsie in der purpurfreien Fovea centralis nicht nur nicht fehlt, sondern sogar besonders deutlich auftritt. Sehr beachtenswert ist der Hinweis des Verfassers darauf, daß Personen, die zum Rotsehen disponiert sind, für Eisenbahn- und Marinedienst unbrauchbar sind. Der Verfasser selbst sah während einer Erythropsie-Periode alle Eisenbahnlaternen rot. (Nagels Jahresber., Ref. *Nagel.*)

Pino (83) (1902) hat die Erscheinungen, welche der Erythropsie vorangehen können, für die theoretische Erklärung verwertet. Er unterstellt, daß die Blutschicht der Netzhau kapillaren so gleichmäßig über die perzipierenden Elemente der Netzhaut verbreitet ist, daß farbloses Licht durch dieselben grün filtriert wird. Der Sehpurpur soll aber diese grüne Farbe neutralisieren, so daß farbloses Licht auch farblos wahrgenommen wird. Wenn man nun einen stark beleuchteten Gegenstand (weißes Gewölk) unbeweglich fixiert, so breitet sich nach 0,5 Minuten eine grüne Farbe über das Gesichtsfeld. (Der Sehpurpur ist durch das Licht zersetzt.) Nach zwei Minuten ändert es sich in Rot (negatives Nachbild). Im Halbdunkel erscheint darauf wieder die gelbgrüne Farbe, namentlich auf den dunkeln Feldern einer Rautenfläche (positives Nachbild) und bald wird es wieder rot, namentlich auf den weißen Feldern (negatives Nachbild, d. h. die Erythropsie der Autoren). Als Stütze für seine Hypothese führt *Pino* an, daß die Erscheinungen, an denen Fuchs die Eigenschaften des negativen Nachbildes erkannte, auch als negative gedeutet werden und daß dasselbe der Fall ist mit den Erscheinungen, welche als positives Nachbild aufgefaßt werden.

In seiner zweiten Mitteilung belegt *Pino* (84) seine Auffassung über die Rolle des Sehpurpurs mit folgender Wahrnehmung: Wenn er die Netzhaut während längerer Zeit vor Reizen schützte und dann während einiger Sekunden einen hellbeleuchteten Gegenstand betrachtete, erhielt er bei Schließen des Auges ein Nachbild, welches in den ersten fünf Sekunden rot und dann in der Farbe des Gegenstandes erscheint. Während der Erholung der Netzhaut soll der Sehpurpur im Überschuß regeneriert sein; derselbe schießt jetzt an dem Ziele vorbei, die Neutralisation der grünen Verfärbung findet zu stark statt und das weiß einfallende Licht wird rot wahrgenommen.

Pino (85) (1904) will eine Erklärung der Erythropsie und des farbig abklingenden Nachbildes in folgender Weise geben: Die Erythropsie ist ein komplementäres Nachbild des gelbgrünen Lichtes, welches beim Durchgang von weißem Licht durch das retinale Blutgefäß-System entsteht. Erst wenn der Sehpurpur erbleicht ist, kann dieses gelbgrüne Licht gefärbte Nachbilder hervorrufen. Wenn man das Auge plötzlich vom Dunkeln ins Licht bringt, kann ein Teil des Sehpurpurs gesehen werden, was besonders in den Nachbildern deutlich zum Ausdruck kommt. Auch das farbige Abklingen des Nachbildes ebenso wie die von *Fechner* beschriebenen Farbenveränderungen bei langem Fixieren von weißem Licht finden im Erbleichen des Sehpurpurs ihre Erklärung. Auf die Frage, ob in den beschriebenen Verhältnissen die Lösung der Frage über die Funktion des Sehpurpurs zu suchen ist, will Verfasser bis auf weiteres die Antwort schuldig bleiben. (Nagels Jahresber., Ref. *Nagel.*)

Von Reuss (61) (1908) findet im Gegensatz zu Fuchs, daß die Farbe des Rot bei der Erythropsie nicht immer purpurrot, sondern oft auch zinnoberrot oder ein diesem nahestehendes Karminrot sei, zwischen welchen Extremen Fälle stehen, über deren Farbe sich streiten läßt.

Vogt (1907 und 1908) (4, 69) stellte durch Versuche an sich selber und anderen fest, *daß sich Erythropsie auch erzeugen läßt bei völliger Ausschaltung des Ultraviolett aus dem Blendungslichte.* Die Ausschaltung wurde vorgenommen durch eine 9 mm dicke Glasplatte des Schwerflint 0,198 der Firma Schott u. Genossen, oder durch Eisenoxydgläser. 1908 zeigte *Vogt* ferner, daß durch allmähliches Steigern der Intensität des primären Lichtes und durch Verlängerung der Fixationsdauer die schon von *Fechner*, *Wegener*, *Helmholtz* und anderen beschriebene Rotphase des Nachbildes der weißen

Fläche in die Blendungserythropsie, wie sie *Fuchs* beschrieben hat, übergeht. Ein Unterschied zwischen Peripherie und Zentrum des Gesichtsfeldes besteht z. T. auch als Folge der durch die brechenden Medien des Auges bedingten stärkeren Belichtung der Macula-Gegend gegenüber der Peripherie, so daß die Nachbildphase des Zentrums derjenigen der Peripherie vorauseilt.

Die Theorie von *Fuchs*: „Erythropsie gleich Sichtbarwerden des Sehpurpurs" wurde von *Vogt* dadurch widerlegt, daß er das reagierende Licht von roten Strahlen filtrierte und auf diese Weise gleichwohl Erythropsie beobachten konnte. Ueber den Versuch siehe diese Abhandlung Epikrise. Dadurch war bewiesen, daß die rote Farbe der Erythropsie unabhängig ist vom Rot des Spektrums, *somit eine entoptische Erscheinung darstellt, wie dies vom Nachbild gilt.* Die Bestätigung hierfür liefern die der Erythropsie vorausgehenden und nachfolgenden, anders gefärbten Nachbildphasen (Grün, Orange, Lila, Gelb etc.). *Vogt* bezeichnet die Erythropsie als identisch mit der Rotphase des Blendungsnachbildes.

Nach *Vogt* ist die Erythropsie in geringen Graden eine alltäglich zu beobachtende Erscheinung, die nach seinen Experimenten die Farbenwahrnehmung in hohem Grade beeinflußt. Sie wird von uns aus Gewohnheit nicht mehr wahrgenommen, kommt aber sofort zum Bewußtsein, wenn wir das eine Auge als Kontrollauge benützen. So erklärt es sich, daß z. B. bei Wanderungen über Schneefelder des Gebirges, wo, wie es bei *Fuchs* und allen seinen Beobachtern der Fall war, bei *Jedermann* konstant Erythropsie auftritt, für gewöhnlich kein Rotsehen wahrgenommen wird. *Vogt* stellte fest, daß nicht nur im Gebirge, sondern auch in der Ebene Erythropsie ohne Pupillenerweiterung leicht erzielbar ist.

Ueber eine Theorie von *Galezowsky* und *Schanz* und *Stockhausen* s. u.

III. Kritik der Theorien.

Die Theorie von Dobrowolski ist von *Fuchs* einwandfrei widerlegt worden.

*Die Schulek*sche *Theorie* entbehrt genügender experimenteller Grundlage. Aus seinen Versuchen, die beispielsweise ergeben, daß Blendung des einen Auges mit Ultraviolett auch am andern nicht geblendeten Auge Erythropsie erzeugt, geht hervor, daß es sich offenbar um eine andere, mit Erythropsie nicht identische Erscheinung handelt. Seine Experimente sind von uns mit negativem Erfolg nachgeprüft worden. Daß seine Auffassung (Erythropsie ist bedingt durch Ultraviolett) unrichtig ist, hat *Vogt* gezeigt. (siehe oben Seite 309.)

Birch-Hirschfeld konnte durch längeres Fixieren des Ultraviolett des Spektrums keine Erythropsie erzeugen.

Über die Widerlegung der *Fuchs*schen Theorie siehe S. 309.

*Vogt*sche *Theorie*: *Best* behauptet gegenüber *Vogt*, daß die Theorie: Blendungserythropsie gleich Rotphase des Nachbildes schon von *Fuchs* vertreten worden sei. Wie unser Referat über die Arbeit von *Fuchs* zeigt, ist dies unrichtig. *Fuchs* lehnt einen Zusammenhang der Erythropsie mit Blendungsnachbildern ab und führt die Erythropsie auf das Ultraviolett zurück, *also einen farblosen Teil des Spektrums, mit welchem Blendungsnachbilder unmöglich erzeugbar sind.* Wollte er ferner die Erythropsie als Rotphase des Blendungsnachbildes, bedingt durch Sichtbarwerden des Sehpurpurs, auffassen, so müßte er logischerweise für die anders ge-

färbten Nachbildphasen jeweilen wieder einen anders gefärbten, dem Sehpurpur analogen Sehstoff annehmen[1]). *Fuchs* hat nur die Ähnlichkeit von Blendungsnachbildphase und Erythropsie hervorgehoben, hält aber beide Erscheinungen, wie aus obigem hervorgeht, in Bezug auf Ursache und Wesen für grundverschieden. Gegenüber der Theorie von *Vogt* ist von *Schanz*[2]) behauptet worden, daß die beobachtete Erythropsie nur das komplementär gefärbte Nachbild der Schneefläche darstelle. Da die Farbe der Schneefläche, wie *Fuchs* zeigte, violett ist, so müßte der *Schanz*schen Behauptung zufolge dieses komplementär gefärbte Nachbild gelb sein. Da dies nicht der Fall ist, fällt der *Schanz*sche Einwand dahin. Außerdem bleiben *Schanz* ebenso wie *Best*, die die Identität der von *Vogt* beobachteten Erythropsie mit der *Fuchs*schen für fraglich halten, den experimentellen Beweis für ihre Behauptung schuldig.

Über die Widerlegung der *Snellen*schen Theorie durch *Birkhoff* und *Koster* siehe oben S. 308.

Zur *Osswald*schen Theorie ist folgendes zu bemerken. Seine Erklärung ist deshalb nicht zulässig, weil nicht nur die Linse als absorbierendes und reflektierendes Medium fehlt, sondern die Pupille überhaupt nach der Myopieoperation im allgemeinen bei Belichtung weiter zu sein pflegt, als am nicht operierten Auge. Ein solches Auge ist somit durch das *ganze* Spektrum stärker belichtet, nicht nur durch die kurzwelligen Strahlen. Es verhält sich daher am Photometer ähnlich wie ein mydriatisches Auge, wie auch aus den Untersuchungen von *Osswald* hervorgeht.

Die komplizierte Theorie von *Pino* ist unhaltbar: Es ist *unrichtig*, daß ein während einiger Sekunden fixierter, hellbeleuchteter Gegenstand im Nachbild nach der Rotphase in seiner natürlichen Farbe erscheint. Bei reagierendem Licht ist diese Farbe eine andere als im Dunkeln und in beiden Fällen stimmt sie nicht mit der Farbe des Gegenstandes überein (siehe unsere Versuche mit dem elektrischen Glühlichtapparat). Zu *Pinos* Arbeit von 1904: Es ist nicht verständlich, wie *Pino* die gelben, grünen, blauen etc. von *Fechner* beschriebenen Phasen durch „Ausbleichen des Sehpurpurs" erklären will. Außerdem würde diese Theorie *Pinos* für alle der Erythropsie vorausgehenden und nachfolgenden Phasen keine Erklärung bringen. Sie wird übrigens, wie die *Fuchs*sche Theorie, widerlegt durch den Versuch mit Erioviridinlösung (s. u.).

Auch die Theorie von *Galezowski*, nach welcher die Linse den Sehpurpur vernichten soll, entbehrt jeder experimentellen Begründung. Man müßte nach dieser Theorie erwarten, daß an linsenhaltigen Augen Erythropsie unmöglich wäre, was durch die Erfahrung widerlegt ist.

Endlich haben neulich auch *Schanz* und *Stockhausen* eine Er-

[1]) Vergleiche die Erwiderung *Vogt*s an *Best*. S. 91.

[2]) Diskussion zu dem *Vogt*schen Vortrag. S. 88.

klärung der Erythropsie versucht, freilich ohne selber an sich Erythropsie erzeugt zu haben. Nach ihnen sollte der Linse eine „gewisse Substanz" innewohnen, welche von den ultravioletten Strahlen „ausgebleicht" zu werden pflege. Diese Substanz halte z. B. im Kaninchenauge (an diesem sollte nach längerer Bestrahlung ein Abnehmen der Fluoreszenz beobachtet worden sein) die ultravioletten Strahlen auf, bis sie „ausgebleicht" sei, worauf dann das Ultraviolett zur Netzhaut trete und dort Erythropsie erzeuge! Abgesehen davon, daß es von vornherein gewagt erscheint, am Kaninchenauge eine so subjektive Erscheinung, wie die Erythropsie, studieren zu wollen, ist die *Schanz*- und *Stockhausen*sche Theorie von *Vogt* und *Birch-Hirschfeld* bereits widerlegt worden, so daß wir darauf nicht näher einzutreten brauchen. (Nach dieser Theorie müßte die Erythropsie nach stundenlanger Blendung stärker werden, während das Umgekehrte der Fall ist.)

Schon vor den Untersuchungen von *Vogt*!), welche zeigten, daß auch von Ultraviolett befreites Schneelicht mit Leichtigkeit Erythropsie erzeugt, wiesen *Birch-Hirschfeld* (64) und *Best* (71) darauf hin, daß eine Mitbeteiligung der *leuchtenden* Strahlen mit Sicherheit nicht auszuschließen sei.

Doch können wir *Best* nicht beipflichten, wenn er glaubt, die Wirkung der ultravioletten Strahlen falle deshalb nicht in Betracht, weil gewöhnliche Brillengläser „zum mindesten den größten Teil der ultravioletten Strahlen zurückhalten" und trotzdem Erythropsie nicht zu verhindern vermögen. Gewöhnliches Brillenglas absorbiert im Gegenteil nur *einen sehr kleinen Teil* der ultravioletten Strahlen des Sonnenlichtes. So absorbiert das gewöhnliche Silikat-Flintglas bei 1 mm. Dicke erst völlig bei $\lambda = 301\ \mu\mu$ (die Absorption beginnt etwa bei 340 $\mu\mu$), Baryt-Silikat Crown sogar erst bei $\lambda = 276\ \mu\mu$ [*Eder* und *Valenta* (65)].

Und nun das Sonnenspektrum: In der Ebene reicht es nur bis 300 $\mu\mu$ und auch im Gebirge nur bis etwa 290 $\mu\mu$[1]).

[*Cornu* (66).] Demnach absorbiert das gewöhnliche Silikatflinglas nur einen geringen Teil, Baryt-Silikat-Crown aber *nur Spuren der ultravioletten Strahlen, selbst im Hochgebirge*. Auch kann man mit *Best* (71) darin nicht einig gehen, daß quantitative Messungen über das Verhältnis von leuchtenden und ultravioletten Strahlen im Gebirge und in der Ebene fehlen sollen. Die Physiker *Mascart* (67), *Cornu* (66), *A. Bemporad* (68) u.A. haben die Lichtexstinktion durch die Atmosphäre im Gebirge und in der Ebene klargelegt. Nach *A. Bemporad* verlieren die roten Strahlen beim Durchgange durch die gesamte Erdatmosphäre nur etwa 10 pCt. des ursprünglichen Lichts, die blauen und violetten dagegen 40 pCt., und nach dem Ultraviolett hin wächst die absorbierende Wirkung der Atmosphäre sehr rasch. Direkte Messungen von *Cornu* haben das starke Ueberwiegen der kurzwelligen Strahlen im Gebirge ergeben.

---

[1]) Zum Beispiel erreicht das Sonnenspektrum nach *Simony* (*A. Cornu* ibid.) auf dem Pic. des Kap. Teneriffa (2700 m) die Wellenlänge von 290 $\mu\mu$.

Dieses Überwiegen des Ultraviolett hatte auch die bisherigen Autoren veranlaßt, es als Ursache der Erythropsie im Gebirge anzusprechen. Indessen ist zu betonen, daß im Gebirge, wie eben gezeigt, nicht nur das Ultraviolett, sondern auch das sichtbare Licht stark vermehrt ist.

Eine abnorm vermehrte Zersetzung der Rotgrün-Substanz (*Schulek*) oder des Sehpurpurs (*Fuchs*) durch dieselben annehmen zu wollen, geht unseres Erachtens deshalb nicht an, weil *unsichtbare* Strahlen diese Substanzen nicht zersetzen können (sofern die Lichtwahrnehmung eine Funktion der Zersetzung dieser Substanzen ist). Die im Vergleich zum Tageslicht verschwindend geringe Lichtintensität der Fluorescenz, welche die kurzwelligen Stahlen erregen, kann praktisch nicht in Frage kommen.

IV. Eigene Untersuchungen.

1. *Einleitung.*

Unsere Untersuchungen wurden vom Verfasser unter der Anleitung und Mithülfe von Dr. *A. Vogt*, Aarau, angestellt. Bei einer so subjektiven Erscheinung, wie die Erythropsie sie ist, ist es erforderlich, daß mindestens zwei Versuchspersonen die Beobachtungen machen und gegenseitig vergleichen. Aus dem gleichen Grunde hat auch *Fuchs* seine bezüglichen Untersuchungen nicht *allein*, sondern in Verbindung mit mehreren Kollegen angestellt. Wie sich übrigens jeder, der sich mit dem Studium der Nachbilder befaßt — und von diesen gingen wir aus —, überzeugen kann, ist zur Beobachtung derselben eine gewisse Übung notwendig, welche durch gegenseitiges Vergleichen der wahrgenommenen Erscheinungen wesentlich gefördert wird.

Eine Erklärung für die Entstehung des *Nachbildes* fehlt. Es bestehen nur Beobachtungen und Theorien darüber. Von den bisherigen Beobachtern von Nachbildern, *v. Helmholtz*, *Fechner*, *Wegener* u. A. wurde immer nur *kurze Zeit* fixiert, Sekunden oder Teile von Sekunden, um möglichst reine Nachbilder zu erzielen. Nicht eine Wiederholung dieser Versuche ist in den nachfolgenden Experimenten beabsichtigt, da alle Autoren zu ziemlich übereinstimmenden Ergebnissen kamen, sondern es handelt sich für uns darum, die Nachbilder nach *lange* dauernder Fixation greller Flächen zu studieren.

Über Nachbilder entnehmen wir aus *Helmholtz* (86) folgendes: Nachbilder heller Objekte, in denen die hellen Teile des Objektes hell, die dunkeln dunkel erscheinen, werden als *positive*, solche, in denen das Helle des Objektes dunkel, das Dunkle hell erscheint, als *negative* Nachbilder bezeichnet. Positive Nachbilder werden am besten durch kurze Fixationen (Optimum $^1/_3$ Sekunde), negative durch längere Einwirkung des primären Lichtes erzielt. Über *die Farbenerscheinungen der Nachbilder* schreibt *v. Helmholtz* l. c. S. 516: „hat man dabei verschieden gefärbte Objekte vor sich, so zeigt das zurückbleibende positive Nachbild im Anfang die Objekte genau

in ihren natürlichen Farben. Ehe das Nachbild verschwindet, ergießt sich darüber meistens ein rosa-roter Schein, in welchem die früheren Farbenunterschiede fast ganz verschwinden, dann folgen schwachgefärbte, gelblichgraue Töne, in denen das der Helligkeit nach positive Bild schwindet oder in ein schwach gezeichnetes, negatives Nachbild übergeht.

Die negativen Nachbilder erhält man besser nach längerer Fixation des Objektes. Um sie zu sehen, lege man farbige Papiere auf einen grauen Grund, fixiere einen bestimmten Punkt des farbigen Papiers und ziehe es plötzlich weg. Dann erscheint auf dem grauen Grunde ein scharfgezeichnetes, negatives Nachbild von komplementärer Färbung. So ist z. B. das Nachbild von Rot blaugrün, von gelb blau, von Grün rosarot und umgekehrt.“ Licht, das auf die Netzhaut wirkt, läßt ein Nachbild zurück. Belichtete Netzhaut reagiert auf neuerdings einfallendes Licht anders, als nicht belichtete. Die Nachbilder verhalten sich anders, je nachdem sie bei Beleuchtung oder bei verdunkeltem Gesichtsfeld beobachtet werden, ja sogar anders, je nachdem die Beleuchtung eine intensive oder herabgesetzte ist.

Wir selber konnten stets beobachten (wie auch *Helmholtz* dies erwähnt), daß es zur Verdunkelung des Gesichtsfeldes nicht genügt, das Auge zu schließen, da in einem einigermaßen erhellten Raume die Augenlider noch hinreichend Licht durchlassen, um eine Veränderung des Nachbildes hervorzurufen; nicht einmal die auf die geschlossenen Augen aufgelegte Hand bietet einen genügenden Schutz. (Siehe Beschreibung unserer Versuchsanordnung über die Art, wie wir diesen Fehler korrigierten.)

Es sei hier daran erinnert, daß man das das Nachbild *erzeugende* Licht das *primäre* Licht zu nennen pflegt, das *nachher* auf die belichtete Netzhaut einwirkende Licht das *reagierende* Licht nennt.

Die Befürchtung von *Helmholtz*, daß längere Einwirkung grelleren Lichtes die Augen schädige, „schwere und gefährliche Augen- und Nervenerkrankungen hervorrufen könne“, scheint uns nach unseren Versuchen nicht begründet. Trotz Fixation des grell beleuchteten Himmels, eines sonnenbeschienenen Schneefeldes, einer Flamme etc. während einer Zeit bis zu 30 Minuten konnten wir außer allerdings sehr lange anhaltenden Nachbildern keine Schädigung des Sehorgans beobachten. Diese Furcht vor Fixation grellerer Flächen hat vielleicht *Helmholtz* u. A. davon abgehalten, zum Studium der sogenannten Blendungsnachbilder zu gelangen.

Mit dem positiven Nachbild beschäftigen wir uns in vorliegender Arbeit nicht, da dasselbe bei so langer Fixationsdauer, wie sie von uns benutzt wurde, nicht zur Beobachtung gelangt.

Helmholtz fand, daß der Einfluß der Dauer der primären Bestrahlung für das negative Nachbild ein anderer ist, als für das positive (S. 506 l. c.). Bei längerer Fixation und grösserer Helligkeit des Objekts folgt dem positiven Nachbild das negative. Das positive Nachbild pflegt bei längerer Fixation eines grelleren Ob-

jektes nicht mehr beobachtet zu werden. Über eine Art „Auffrischung" finden wir bei *Helmholtz*, l. c. S. 507 folgendes: „Wenn, ich dasselbe Objekt dagegen vier oder acht Sekunden betrachtete, schwand das negative Nachbild erst nach acht Minuten. Ich hielt das Gesichtsfeld dabei ganz dunkel und ließ nur von Zeit zu Zeit schwaches Licht durch die geschlossenen Lider einfallen, um zu prüfen, ob das Nachbild noch da sei. Um das negative Nachbild recht scharf gezeichnet zu erhalten, ist es notwendig, während der Dauer der Bestrahlung scharf einen bestimmten Punkt des hellen Objektes zu fixieren."

Helmholtz faßt das positive Nachbild als die Fortdauer der *primären* Lichtwirkung auf, das negative als eine Erschöpfungserscheinung der Netzhaut, welche sogenanntes *reagierendes* Licht anders empfindet, als nicht belichtete Netzhautpartien. Wird das negative Nachbild bei Lichtabschluß beobachtet, so nimmt *Helmholtz* als reagierendes Licht das „*Eigenlicht*"[1]), der Netzhaut an.

Über das Studium *des Nachbildes weisser Objekte* bestehen Untersuchungen von *Helmholtz*, *Fechner*, *Seguin*, *Aubert*, *Plateau* und in neuerer Zeit von *Fuchs* l. c. Die Fixationsdauer pflegte Bruchteile einer Sekunde oder nur wenige Sekunden zu betragen. *Helmholtz* bezeichnet die Nachbildphasen weisser Objekte als farbiges Abklingen. Er und die übrigen Autoren fanden, *daß bei Abschluß des Lichts das Nachbild frühere Stadien durchläuft, als bei reagierendem Licht.* Schließt man z. B. während eines bestimmten Stadiums des Nachbildes das reagierende Licht ab, so tritt eine bereits durchlaufene Phase wieder auf. Läßt man das reagierende Licht wieder hinzutreten, so tritt das Nachbild wieder in ein späteres Stadium. Bei längerer Einwirkung weissen Lichts zeigt sich nach Fechner der Einfluß der Ermüdung schon dadurch, daß dieses farbig wird. Nachdem er die Augen eine Zeitlang geschlossen gehalten hatte, um die Nachwirkung früherer Eindrücke zu beseitigen, richtete er dieselben auf ein weisses, im Sonnenschein auf schwarzem Papier liegendes Feld. In den ersten Momenten ließ sich wegen einer Art von Blendung kein sicheres Urteil über das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein einer Farbe fällen; eine solche scheint sich in der Tat erst nach einiger Zeit zu entwickeln. Bald nämlich färbt sich das Papier entschieden gelb, dann blau-

[1]) Unter *Eigenlicht* der Netzhaut verstehen wir das Lichtchaos, das im völlig dunkeln Gesichtsfeld auftritt nach Abklingen aller Nachbilder, die etwa von vorherigen Lichteindrücken stammen können. *Helmholtz* erscheint es „meist wie zwei Systeme kreisförmiger Wellen, die langsam gegen ihre Mittelpunkte zu beiden Seiten des Gesichtspunktes zusammenlaufen. Die Lage der Mittelpunkte scheint ihm den Eintrittsstellen der beiden Sehnerven zu entsprechen; der Rhythmus fällt mit dem der Respirationsbewegungen zusammen". *Purkinje* sah ein ähnliches System von Bändern. Solche und ähnliche Erscheinungen (wandelnde Lichtflecke, die häufig Gefäßverästelungen, Lettern etc. ähnlich sind) scheinen bei manchen Beobachtern auch in Phantasmen überzugehen. Eine ziemlich häufige Form dieser Lichterscheinungen scheint die zu sein, welche *Goethe* wandelnde Nebelstreifen nennt (*Goethe*, Farbenlehre, Bd. I, S. 96). *Helmholtz*, l. c. S. 242.

grau oder blau, ohne daß bei oftmaligen Versuchen eine Übergangsstufe durch Grün wahrzunehmen gewesen wäre, dann rotviolett oder rot. Die gelbe Phase ist die kürzeste; die blaue dauert oft ziemlich lange, ehe sie in die folgende übergeht. Nach der roten oder rotvioletten konnte er keine weitere wahrnehmen, obgleich er den Versuch bis zu grosser Anstrengung des Auges fortsetzte. Auch im verbreiteten Tageslichte nahm er die angegebene Folge der Färbungen oft wahr, obschon einmal mit grösserer Entschiedenheit, als das andere Mal; die beiden letzten Färbungen erkannte er hier in der Regel leichter, als die erste gelbe.

Im Gegensatz zu *Helmholtz* und *Fechner* konnte sich *Plateau* die farbigen Nachbilder nicht anders erklären, als die Folge einer neuen entgegengesetzten Tätigkeit der Netzhaut. Er begründet seine Theorie damit, daß die farbigen Phasen auch beim gänzlichen Mangel eines äußeren Lichtes gesehen werden.

2. Versuchsanordnung.

Wir haben uns bestrebt, immer möglichst *gleichmäßig beleuchtete Flächen* zu fixieren, um störende Einwirkungen von verschieden gefärbten Nachbildern, welche dann entstehen, wenn das fixierte Objekt Stellen verschiedener Helligkeit aufweist, zu vermeiden. Fixiert man z. B. den Faden einer Glühlampe, so bestehen im Nachbild gleichzeitig nebeneinander so viele verschiedene Farbentöne, herrührend erstens von der Glashülle, zweitens von dem Glühfaden, der ebenfalls wieder in der Intensität variiert, drittens von der die Lampe umgebenden Atmosphäre und von dem Lampenansatze u. s. w., daß die Beobachtung des Abklingens der verschiedenen Phasen sehr erschwert wird.

Zu den Blendungsversuchen wurde

1. künstliches Licht,
2. Wolkenlicht,
3. von weißen Flächen reflektiertes Sonnenlicht

benützt. Da Voruntersuchungen ergeben hatten, daß die Art der Blendungsnachbilder in hohem Maße abhängig ist von der Intensität des primären und reagierenden Lichtes, so suchten wir diese Intensität photometrisch zu bestimmen. Zu diesem Zwecke benützten wir das *Weber*sche Photometer, das uns von Herrn *Prof. Dr. Albrecht Burckhardt*, Direktor des hygienischen Instituts der Universität Basel, in verdankenswerter Weise zur Verfügung gestellt wurde. Für die speziellen Experimente mit den verschiedenen Lichtarten ist jeweilen die Versuchsanordnung der betreffenden Gruppe vorausgeschickt. Das Kontrollauge, wie auch das Versuchsauge waren vor Beginn des Versuches immer 10 bis 30 Minuten lang durch eine mit Watte gepolsterte, schwarze Kartonschutzplatte gegen Licht komplett abgeschlossen (einfaches Schließen der Augen genügt nicht, weil die Lider reichlich rotes Licht durchlassen). Zur Messung der Zeit benutzte der eine der Beobachter

ein Chronometer mit Chronographenvorrichtung und notierte die Beobachtungen der Versuchsperson. Bei Nachbildbeobachtungen im dunklen Raume wurden Beobachtung und Zeit in einem anstoßenden Zimmer notiert.

Als Abblendungsrohre wurden mit schwarzem Papier überzogene Kartonrohre von 20 cm Länge und 4,5 cm Lichtweite verwendet.

Zur Pupillenerweiterung diente entweder Homatropin-Kokain oder Atropinum sulfuricum.

Das Photometer von *Weber* dient in erster Linie zur Messung von Lichtstärken und Beleuchtungsstärken. Handelt es sich dagegen um die Messung von *Flächenhelligkeiten*, so können zwei Wege eingeschlagen werden[1]):

a) Man stellt vor die helle Fläche ein Diaphragma von der Grösse F (in cm^2) und betrachtet dies als punktförmige Lichtquelle, deren Intensität $J = \frac{C_3}{r^2}$ ausgemessen wird. Dann ist $J = H.\ F.$ zu setzen, woraus $H = \frac{1}{F} \cdot \frac{C_3}{r^2}$. Hierbei ist zu beachten, daß der Abstand zwischen F und dem Photometer nicht allzu klein genommen und der Durchmesser der runden Blende F nicht viel größer, als derjenige des Abblendungstubus T ist. Man wird aus diesen Gründen die Methode nur für sehr helle Flächen verwenden können.

Übrigens kann, wenn man ein schwarzgestrichenes Zimmer hat, die Bestimmung von J auch mit der Montierung der Platte μ (Mattglas in Metall gefaßt) gemacht werden unter Benützung der für $C''\mu$ gegebenen Konstanten. In diesem Falle kann das Diaphragma F dann etwas grösser sein.

Nach derselben Methode läßt sich auch die Himmelshelligkeit bestimmen. Es muß nur die Bedingung erfüllt werden, daß der gezeichnete Raumwinkel ganz auf den Himmel fällt. Die Stelle und Stellung des Diaphragmas ist demnach mit Vorsicht zu wählen.

b) Kleinere Flächenhelligkeiten würde man mit der Montierung des Photometers messen können, die zur Messung der Beleuchtungsstärken angewandt wird. Nur sind die Konstanten C_0', C_0' jetzt nicht mehr brauchbar. Die richtigen Konstanten würden sich vom Wege a) aus bestimmen lassen, was jedoch bisher bei Ablieferung der Photometer nicht geschehen ist. Man kann, wenn es nur auf einen angenäherten Wert ankommt, die Konstanten C_0', C_1 mit 0,24 multiplizieren $\left(0.24 = \frac{0,75}{\pi}\right)$ und erhält dann primäre Helligkeitseinheiten (diejenige Fläche hat die Helligkeit 1, von welcher ein cm^2 so viel Licht aussendet, wie die

[1]) Die nachstehenden Angaben sind einer freundlichen, persönlichen Mitteilung des Herrn Prof. Dr. *L. Weber* in Kiel entnommen.

Hefnerkerze). Somit z. B.: Einstellung mit Platte 3, r = 18, $C_3' = 15{,}44$, $0{,}24 \cdot 15{,}44 = 3{,}706$, Helligkeit (H) $= \frac{3{,}706}{18 \cdot 18} = 0{,}0114$ p. H. E.

Zweckmäßiger wird die Intensität nach dem Vorgehen von *Weber* in sekundären Einheiten ausgedrückt. Es müssen hiernach die gefundenen primären Helligkeiten noch mit $\pi \cdot 10\,000 = 31\,415$ multipliziert werden. Statt mit 0,24 werden daher einfacher die dem Apparat beigegebenen Konstanten $C_0' C_1'$ mit $0{,}75 . 10\,000$ multipliziert, also $H = \frac{0{,}75 \cdot C' \ldots \times 10\,000}{r^2}$ (der Faktor 0,75 bedeutet die Albado oder das Reflexionsvermögen). Nach dieser letzteren Methode wurde die Flächenhelligkeit von uns bestimmt.

In erster Linie wurde die Flächenhelligkeit gemessen der Schneefläche, Papierfläche, Leinwandfläche, der Wolken und der Mattglasscheibe (elektrische Glühlampe), und zwar mit Hülfe des Abblendungstubus. Da jedoch die durch diese Blendungsflächen gegebene Belichtung des Auges nicht identisch ist mit der wirklichen Belichtung, indem bei der Fixation z. B. der Schnee- oder Papierfläche auch noch seitliches Licht, insbesondere Himmelslicht, zur Netzhaut gelangt, haben wir in einer II. Reihe von Messungen den dem Photometer beigegebenen Ablendungstubus nicht benutzt und an seiner Stelle die Scheibe μ verwendet. Dadurch erhielten wir ein relatives Maß für die Beleuchtungsstärke an Stelle der Flächenhelligkeit, die sowohl von der Blendungsfläche, als auch von der Peripherie ins Auge gelangt. Die so gewonnenen Beleuchtungsstärken sind nun zwar nicht identisch mit der zur Netzhaut gelangenden Lichtmenge, berücksichtigen aber nicht nur das von der Blendungsfläche ins Auge fallende Licht, sondern auch das periphere, z. B. Himmelslicht, das bei unseren Blendungsversuchen ebenfalls nicht ausgeschaltet war. Die von uns als „Beleuchtungsstärke" jeweilen angegebenen Zahlen geben (mit Hülfe der Konstanten $C_\mu'' C_3'' \ldots$ gemessen) die Beleuchtungsstärke desjenigen Lichtes an, das auf die Scheibe μ des Photometers gefallen ist.

Wo die Flächenhelligkeit eine so ausserordentlich große war (weiße Papier- und Leinwandflächen), daß unsere Milchglasplatten zur Messung nicht ausreichten, benutzten wir nach dem Vorschlage von Professor *Weber* ein kleineres Diaphragma, als es der Abblendungstubus darstellt. Dasselbe wurde so gewählt, daß der Durchmesser $^1/_3$ des Durchmessers des Tubus betrug. Die Konstanten mußten somit noch mit $\frac{D^2}{d^2}$ multipliziert werden. Was die Genauigkeit der Flächenhelligkeitsmessungen anbetrifft, so beträgt der Fehler, der durch die Multiplikation der Konstanten $C_0^1 . C_1^1$ mit der angenäherten Zahl 0,75 auftritt, nach Prof. *Weber* höchstens 8 pCt.

Wo es sich um so geringe Flächenhelligkeiten handelte

(reagierendes Licht des benutzten Korridors), daß die Helligkeit der Benzinkerze zur Messung zu groß war, halfen wir uns so, daß r=300 gewählt wurde, worauf (für grün und rot) die Flammenhöhe auf diesen Abstand 300 eingestellt wurde. Sie betrug z. B. 7 mm, 12 mm etc.

Zur Berechnung der Helligkeit wurde sodann nach dem Vorschlage von Prof. *Weber* an einer konstanten Lichtfläche die Kerze auf 20 mm und 12 resp. 7 mm u. s. w. eingestellt und das Verhältnis der beiden hierbei abzulesenden $\frac{r_1^2}{r_2^2}$ als Reduktionsfaktor benutzt

Zu allen Messungen wurde wegen der Ungleichheit der Farbe des Tageslichts und des Benzinlichts der Faktor K durch zweimalige Messung in rotem und grünem Licht an Hand der dem Photometer beigegebenen Tabelle ermittelt.

Die Flächenhelligkeit des Blendungslichtes der weissen Flächen variierte zwischen 10000—100000 sekundären *Weber*schen Einheiten, die Beleuchtungsstärke zwischen 10000—30000 Mk. je nachdem die Sonne durch leichtes Gewölk verschleiert war oder nicht.

Das reagierende Licht betrug in den Versuchen No. 37—75 im Korridor 0,2—2 sekundäre Einheiten (geschlossene Tür) resp. 10—30 sekundäre Einheiten (offene Tür). Im Schatten des Hauses 500—1500 sekundäre Einheiten. Die Zahlen wurden gewonnen durch Bestimmung der Flächenhelligkeit des benutzten weißen Tuches, resp. der Hauswand und des Erdbodens.

Der Einfachheit halber haben wir diese Helligkeiten der Versuche 37—75 als A, B und C bezeichnet und zwar bedeutet A die Flächenhelligkeit im Schatten des Hauses ca. 500—1500, B die Flächenhelligkeit des weissen Tuches bei offener Korridortür ca. 10—30, C die Flächenhelligkeit des weißen Tuches bei geschlossener Korridortüre ca. 0,2—2 sekundäre Einheiten nach *Weber*.

Besondere Helligkeiten kamen in Betracht für die Versuche No. 1—36. Das zur Blendung benutzte Himmelslicht hatte eine Flächenhelligkeit von 30 000—40 000 sekundären Einheiten, das reagierende Licht (bestimmt als Flächenhelligkeit des weißen Tuches) eine solche von 0,4—0,6 sekundären Einheiten, resp. 0.7 bis 1,0 sekundären Einheiten (Flächenhelligkeit der Mattglastüre). Die Flächenhelligkeit des schwarzen Tuches war $< 0{,}1$ (nicht genau meßbar). Die Beleuchtungsstärke des Himmelslichts wurde zu ca. 15 000—16 000 MK bestimmt, die des reagierenden Lichtes (des Tuches und der Mattglastüre) war mit Hülfe unseres Apparates wegen ihrer geringen Intensität nicht mehr meßbar. Die Flächenhelligkeit der Milchglasfläche des Glühlampenapparates betrug 445 sekundäre Einheiten.

Als D bezeichnen wir die Flächenhelligheit des Tuches von 0,4—0,6 sekundäre Einheiten, als E diejenige der Mattglastüre v. 0,7—1,0 sekundäre Einheiten, als F die des schwarzen Tuches

Blendungsversuche mit direktem Wolkenlicht.

Versuchsbedingungen: Die Beobachter befinden sich in einem durch ein nach Osten gehendes Fenster belichteten Estrichkorridor. Das Fenster kann durch einen schwarzen Papierschirm verschlossen werden. Die Seiten des Fensters betragen 25/25 cm. Auf der entgegengesetzten Seite des Korridors befindet sich eine ebenfalls verdeckbare Milchglastür. Außerdem erhält der Korridor vom Treppenhaus her seitliches Licht, das zum Teil durch eine schwarze Papierwand abgeblendet werden kann. Zur Beobachtung des Nachbildes auf der weißen Fläche ist ein 2 m hoher, 1,5 m breiter weißer Schirm so aufgestellt, daß auf diesem unmittelbar nach Fixierung des Wolkenlichtes das Nachbild beobachtet werden kann. Teilweise wurde das letztere auch auf dem erwähnten schwarzen Schirm und auf der Milchglastür beobachtet. Die Helligkeit des schwarzen Schirmes war so bedeutend geringer als die des weißen, daß Messungen mit dem *Weber*schen Photometer nicht mehr möglich waren (s. o.). Die Helligkeiten wurden gemessen am Beginn und am Schluß der Versuche: 1. die des Wolkenlichtes; 2. die des beschriebenen Schirmes und 3. die der Milchglastüre. Die beobachtete Himmelsfläche befindet sich mit ihrem Zentrum etwa 30 bis 40° vom Zenit, das Auge des Beobachters befindet sich an Stelle der Scheibe μ des Photometers, ca. ½ m von der Lichtung des Fensters entfernt. Es sei somit betont, daß die Einrahmung des Fensters sich im Bereiche des Gesichtsfeldes befand, so daß eine quadratische Himmelsfläche mit dunkler Umrandung als Fixationsobjekt diente. Die Versuche wurden stets bei hellem oder mäßig bewölktem Himmel angestellt in der Zeit von 11 bis ½1 Uhr mittags während November, Dezember und Januar. Zu diesen Versuchen wurde die Pupille nicht erweitert. Das eine Auge wurde immer als Kontrollauge benützt, d. h. während der Fixationszeit durch einen lichtundurchlässigen Verband verschlossen. Das zur Blendung benützte Auge war jeweilen vor dem Versuche 15 bis 20 Minuten völlig ausgeruht, d. h. durch einen schwarzen Verband verschlossen. (Ueber die Helligkeitsintensität s. S. 27.) Die Zahlen bedeuten die Sekundenzahl nach Schluß der Fixationszeit.

Fixationszeit 5 Sekunden; Beobachtung im Dunkeln:

Versuch 1: Wie Versuch 3.

Versuch 2: Wie Versuch 3.

Versuch 3: Bei geschlossenem und verdecktem Auge. **5:** bläulichgrün. **10:** rosarot leuchtend. **28:** blaßrosa. **32:** weißbläulich. **35:** bläulich. **40:** weißblau. **50:** dunkelblau. **60:** dunkelblau mit Stich ins Violette. **80:** blaugrau mit Stich ins Rötliche. **105:** moosgrün. **115:** bläulichgrau verwaschen. **130:** momentane Belichtung: sofort scharfes dunkles Nachbild auf bläulichgrauem Grund. **230:** bei neuerlichem Verschließen: N. sofort bläulichgrau mit Stich ins Rötliche. **250:** bei geringer momentaner Belichtung: sofort schwarzes, ziemlich scharf umschriebenes N. **255:** nach neuerlichem Verschließen: violetter Schimmer zentral, etwa $^1/_5$ des ganzen Viereckes einnehmend. **420:** nach Belichtung: N. schwarz, nach Schließen N. nicht mehr deutlich bläulichgrau wahrnehmbar, bisweilen ganz verschwunden. **600:** das dunkle N. ist noch schwach erzielbar, das bläuliche ist verschwunden.

Anmerkung: Nach momentaner Belichtung werden die im Verschwinden begriffenen N. wieder verstärkt (aufgefrischt), während der Belichtung jedoch erscheinen sie schwärzlich scharf umschrieben.

Versuch 4: Wie Versuch 3.

Fixationszeit 5 Sekunden; Beobachtung auf der beleuchteten Fläche (Helligkeit F):

Versuch 9: Wie Versuch 10.

Versuch 10: Versuchsbedingungen wie zu Versuch 3. **9:** rosarot leuchtend. **35:** bläulich. **42:** ultramarinblau. **56:** ultramarinblau. **85:** Peripherie dunkelblau, Mitte hellblau. **105:** schwarzgrünlich, Mitte bläulicher Schimmer. **120:** undeutliche Grenzen. **135:** oft wieder etwas deutlichere

Grenzen, die wieder verschwinden. **150 :** nur noch bläulichvioletter Schimmer. **180 :** schwache Belichtung durch leichtes Heben der das seitliche Licht sonst abblendenden Hand: sofort schwarzes N. mit bläulichem Schimmer. Beim Schließen und Verdecken des Auges mit der Hand: sofort für 1 bis 2 Sekunden hellbläuliches, unscharf begrenztes N. **280 :** beim teilweisen Öffnen des Auges: dasselbe dunkle N., scharf begrenzt, dem beim Schließen des Auges ein nur noch schwach erkennbares, rasch verschwindendes, hellbläuliches N. folgt. Bei geschlossenem Auge von Zeit zu Zeit violetter zentraler Schimmer. **380 :** wird wieder momentan geöffnet, so tritt nicht mehr ein tiefschwarzes N., sondern ein deutlich braunrötlicher Schimmer auf. **440 :** beim Öffnen noch dunkelgraues N., Grenzen etwas mehr verwaschen, als vorher. Zu seiner Wahrnehmung ist es nötig, das Auge etwas zuzukneifen. **490 :** beim Schließen des Auges nichts mehr. **550 :** beim Oeffnen nur noch dunkelgraues, undeutliches N. auf hellgrauer Umgebung.

Fixationszeit 5 Sekunden; Beobachtung auf der beleuchteten Fläche (Helligkeit D):

Versuch 11 : Versuchsbedingungen wie zu Versuch 3. **6 :** bläulichweiß. **15 :** blaßrosarot. **35 :** bläulich mit Spur rötlich. **45 :** graubläulich, bei Schließen des Auges hellblau aufleuchtend. **65 :** dunkelgraubläulich, in der Mitte violetter Schimmer. **85 :** grau, Mitte violetter Schimmer. **100 :** dunkelgrau, Mitte hier und da leuchtend, violetter Schimmer. **130 :** beim Schließen des Auges hellblaues Aufleuchten, beim Oeffnen des Auges dunkelgrünlichgelbes, unscharfes N., Farbe sehr schwach ausgeprägt. **170 :** beim Schließen des Auges deutliches hellblaues, ziemlich scharfes N. **210 :** beim Oeffnen des Auges nichts. **220 :** beim Schließen des Auges weniger scharfes, graublaues N. Wird das Auge für einige Sekunden geschlossen, so erscheint auf der weißen Fläche beim Oeffnen wieder das frühere, graugelbgrüne N. für zwei Sekunden ziemlich scharf, dann wieder verschwindend. **315 :** dasselbe, aber viel weniger deutlich, namentlich bei geschlossenem Auge. **345 :** bei offenem Auge hier und da zentraler violetter Schimmer, bei geschlossenem Auge graubläulicher Schimmer. Wird für fünf Sekunden geschlossen, so erscheint auf der weißen Fläche nach Oeffnen nichts mehr. **420 :** bei geschlossenem Auge noch zentraler, tiefvioletter Schimmer.

Versuch 12 : Wie Versuch 11.

Fixationszeit 30 Sekunden; Beobachtung auf der beleuchteten Fläche (Helligkeit D):

Versuch 13 : Versuchsbedingungen wie zu Versuch 3. **10 :** rosarot, Mitte bläulich. **25 :** die ganze Fläche rot, darin ein bläulichrotes Quadrat. **55 :** bläulich mit Stich ins Rötliche. **67** bläulichgrau, beim Schließen intensivblau. **85 :** gelblichgrün bis grau, beim Schließen sofort blau leuchtend. **115 :** ganze Fläche rosarötlicher Schimmer. **140 :** grünlichgelbgrau, beim Schließen sofort leuchtend hellblau. **165 :** grau, unscharf, beim Schließen sofort sehr scharf hellblau; nach 5 Sekunden langem Schließen erscheint beim Öffnen das N. viel schärfer, dunkelbraungrün; in den 5 Sekunden des Schließens verblaßt das anfänglich hellblaue N. **275 :** dasselbe, beim Schließen weniger deutlich, beim Oeffnen nach einigen Sekunden sehr deutlich, dunkelbraungrün, rasch wieder abblassend. **335 :** dasselbe, weniger intensiv. **405 :** nach Schließen für einige Sekunden beim Oeffnen grüngelb mit Stich ins Bräunliche, nach einigen Sekunden wieder verschwindend. Umgebende Fläche graubläulich. **480 :** dasselbe. **540 :** dasselbe, weniger scharf. Beim Schließen des Auges ist Wiederauffrischen des N. sehr leicht möglich. **590 :** bei geschlossenem Auge zentral tiefvioletter Schimmer. **670 :** nach Schließen für einige Sekunden kann beim Oeffnen noch ein schwach bräunliches N. auf der weißen Fläche hervorgerufen werden. Beim Schließen tritt zentral schwachvioletter Schimmer auf. **740 :** noch schwach graues Nachbild.

Versuch 14 : Wie Versuch 13.

Fixationszeit 60 Sekunden; Beobachtung auf der beleuchteten Fläche (Helligkeit D).

Versuch 15: Versuchsbedingungen wie zu Versuch 3. **15:** rosarot, durcheinanderwirbelnd. **20:** bräunlichgelb mit rotem Rand. **33:** gelbweiß mit rotem Rand. **45:** intensiv violettrot, bei geschlossenem Auge leuchtend rosarot. **65:** lila, bei geschlossenem Auge hellrosa. **80:** auf grauem Grund blau mit Stich ins Lila, bei geschlossenem Auge ultramarinblau. **120:** dunkelgraublau, bei geschlossenem Auge leuchtend hellblau. **150:** dunkler graublau, bei geschlossenem Auge leuchtend hellblau. **180:** dunkelgrau mit Stich ins Bläuliche, bei geschlossenem Auge leuchtend hellblau. **205:** bei offenem Auge undeutlich, nach 5 Sekunden langem Schließen beim Oeffnen: dunkelbräunlich (Sepia). **230:** mehr gelblich, bei geschlossenem Auge leuchtend hellblau. **250:** nach 5 Sekunden langem Schließen beim Oeffnen dunkelbräunlichgelb. **280:** bei geschlossenem Auge blasser blau, bei offenem Auge gelbbräunlich, nach einigen Sekunden verschwindend. **325:** wieder erzielbar durch Schließen wie vorhin. **410:** bei geschlossenem Auge blaßbläulich, nach Schließen bei offenem Auge dunkelbraun gelb, um so schärfer, je länger das Auge vorher geschlossen war. **510:** immer noch dasselbe.

Fixationszeit 30 Sekunden; Beobachtung auf der beleuchteten Fläche (Helligkeit D):

Versuch 16: Versuchsbedingungen wie zu Versuch 3. Das N. wird durch ein schwarzes, zylindrisches Kartonrohr von 20 cm Länge und 4,5 cm Lichtweite beobachtet. Blickt man durch das schwarze Rohr mit einem Auge, wobei auch das andere Auge geöffnet ist, so erscheint der durch das Rohr erklickte kreisrunde Teil der Wand außerordentlich viel heller als die übrige Wand; man glaubt eine helleuchtende, kreisrunde Fläche vor sich zu sehn auf dunklem Hintergrund. Schließt man nun dasjenige Auge, welches nicht durch das Rohr blickt, so verdunkelt sich die runde Fläche etwas, bleibt aber immer noch sehr deutlich heller als die fixierte Fläche, ohne Rohr mit einem Auge betrachtet. Mit beiden Augen betrachtet (ohne Rohr) erscheint nämlich die Fläche heller, als mit einem Auge betrachtet. **15:** blaßrosa. **25:** lila, beim Schließen hellblau. **38:** schmutzig lila. **50:** schwärzlich-bräunlich. **70:** dunkelbraungrünlich. **85:** undeutlicher Rand, beim Schließen hellblau, beim Oeffnen wieder deutlicher werdend. **125:** wird das schwarze Rohr vor das Auge gehalten, so ist das N. hellgelbbraun, beim Weghalten des Rohres dunkelgelbbraun. **165:** beim Schließen des Auges hellblau. **175:** beim Wegenhmen des Rohres ist im ersten Moment das Bild wieder schärfer. **235:** beim Schließen des Auges weißlichblau, nach einigen Sekunden verschwindend, beim Oeffnen wieder deutlich braungrau. **280:** beim Schließen des Auges nur noch undeutlich hellgrau mit Stich ins Bläuliche. Wird nach einigen Sekunden das Auge geöffnet, so ist das Nachbild wieder deutlich braungrau, um nach 2 bis 3 Sekunden zu verschwinden. **360:** nach Schließen für 10 Sekunden, wobei ein hellgrauer Schimmer auftritt, wird beim Oeffnen sofort dunkelgraues N. wahrgenommen. **430:** beim Schließen nichts Deutliches mehr, dagegen beim Oeffnen noch unscharfes, dunkelgraues Quadrat. **510:** dasselbe schwächer. **540:** nichts mehr.

Versuch 17: Wie Versuch 16.

Fixationszeit 30 Sekunden; Beobachtung auf der beleuchteten Fläche (Helligkeit D):

Versuch 18: Versuchsbedingungen wie zu Versuch 16. Es findet nicht nur die Beobachtung, sondern auch die vorhergehende Fixation mit dem schwarzen Rohr statt. **15:** blaßrötlich (mit Rohr). **20:** blau. **30:** dunkelblau. **35:** graublau. **50:** gelblichgrau-bräunlich. **65:** beim Schließen undeutlich, beim Oeffnen gelbbräunlich. **100:** schokoladenschwarzbraun (ohne Rohr). **110:** hellgelbbraun (mit Rohr), schokoladenbraun (ohne Rohr). **120:** beim Schließen undeutlich. **130:** wird das schokoladenfarbene N. einige Sekunden fixiert, so verschwindet es allmählich. **150:** beim Schließen hellbläulich, weiterer Verlauf wie bei Versuch 16.

Fixationszeit 30 Sekunden; Beobachtung auf der beleuchteten Fläche (Helligkeit D):

Versuch 19: Versuchsbedingungen wie zu Versuch 16. **8:** bläulich-

rötlich, Rand etwas röter. **20 :** beim Schließen hellblau. **28 :** Mitte gelblich, Peripherie rosarot. **40 :** purpurrot, Mitte gelb. **45 :** lila. **70 :** graublau, beim Schließen himmelblau, Mitte rot. **85 :** beim Oeffnen gelblichgrau-zitronengelb. **105 :** beim Schließen viel schärfer, himmelblau. **115 :** beim Oeffnen gelbgrüngrau, rasch weniger scharf werdend. **135 :** beim Schließen leuchtend himmelblau. **150 :** beim Oeffnen gelbgrünlich-bräunlich zuerst scharf, nach ein bis zwei Sekunden unscharfer Rand. **175 :** beim Schließen himmelblau, beim Oeffnen gelbgrünbräunlich. **200 :** mit Rohr hellzitronengelb, ohne Rohr dunkler zitronengelb, rasch undeutlich werdend. **245 :** mit Rohr hellbräunlichgelb. **255 :** ohne Rohr dunkler bräunlichgelb mit Stich ins Flaschengrün. **300 :** dasselbe, mehr in grau, etwas unschärfer, besonders beim Schließen das Blau weniger leuchtend. **420 :** dasselbe. Bilder rascher verschwindend. Das Graublau beim Schließen hat einen leichten Stich ins Violette, das Gelb beim Oeffnen einen leichten Stich ins Bräunliche. **600 :** beim Schließen rasch verschwindend, leichter Stich ins Violette, beim Oeffnen graubräunlichgelb, rasch undeutlich. **780 :** N. undeutlich.

Fixationszeit 30 Sekunden; Beobachtung auf der beleuchteten Fläche (Helligkeit D):

Versuch 20 : Versuchsbedingungen wie beim vorigen Versuch. **15 :** gelbrot. 20 : leuchtender rot. **25 :** purpurrot. **33 :** Mitte gelbrot. **55 :** purpurrot, Peripherie blau. **65 :** Mitte dunkler purpurrot. **70 :** himmelblau mit Stich ins Lila. **90 :** beim Schließen hellblau, beim Oeffnen graublau. **110 :** mit Rohr gelb (schwarze Wandung im Rohr tiefblau). **135 :** beim Schließen graublau, beim Oeffnen graugelb, an den dunkleren Stellen graubläulich. **195 :** mit Rohr hellgelb (schwarze Wand des Rohres dunkelgraublau), ohne Rohr dunkler gelb. **280 :** gelb, besonders scharf bei Vergleich mit dem andern, vorher geschlossenen Auge. **340 :** mit Rohr heller gelb, ohne Rohr dunkler gelb beim Schließen undeutlich graublauer diffuser Schein. **370 :** gelb, wird dunkler, Stich ins Flaschengrüne, immer noch sehr deutlich beim Vergleich mit dem andern Auge. **525 :** immer noch, besonders im Zentrum, undeutlich graugelber Schimmer, Grau überwiegt über Gelb immer mehr.

Versuch 21 : Wie Versuch 20.

Versuch 22 : Wie Versuch 23.

Fixationszeit 30 Sekunden; Beobachtung auf der beleuchteten Fläche (Helligkeit D):

Versuch 23 : Versuchsbedingungen: siehe Versuchsbedingungen zu Versuch 3. Statt des schwarz umrandeten Fensterausschnittes von 25/25 cm wird das ganze Fenster von 85/45 cm verwendet. **15 :** gelbroter Schimmer. **25 :** bläulichrot. **30 :** lila, beim Starren (Ausschaltung der Akkommodation). **35 :** in Hellblau übergehend. **45 :** nach momentanem Schließen wieder rosa. **75 :** bräunlichgrau mit Stich ins Rötliche. **90 :** graublau. **105 :** bei geschlossenem Auge leuchtend hellblau, bei offenem Auge gelbbraun. **150 :** verblassend, durch Schließen für einige Sekunden wieder auffrischbar. **180 :** bei geschlossenem Auge graublau, undeutlich, bei offenem Auge gelbbraun, Zentrum heller. **225 :** mit Rohr hellgelbgrau. **300 :** Grau dominiert bei offenem Auge über Gelb. **330 :** bei geschlossenem Auge undeutlich. **540 :** verschwunden.

Bemerkung: Bei geschlossenem Auge sind diese Nachbilder wahrscheinlich deshalb undeutlicher wahrnehmbar als die N. des kleinen Fensterquadrates, weil sie das ganze Gesichtsfeld einnehmen und daher keine scharfe Begrenzung haben, die eine Kontrastwirkung ermöglichen könnte.

Fixationszeit 120 Sekunden; Beobachtung auf der beleuchteten Fläche (Helligkeit D):

Versuch 24 : Versuchsbedingungen wie bei Versuch 23. **10 :** Gesichtsfeld stark verdunkelt. **20 :** zentral grün, peripher leuchtend rosarot. **30 :** beim Schließen zentral grün, peripher rosarot. **55 :** blau bis lila, nach momentanem Schließen wieder purpurrot beim Öffnen. **70 :** gleichmäßig blau, Mitte heller, nach momentanem Schließen und Wiederöffnen düster rot. **100 :** gelbbraun.

beim Schließen undeutlich blau. **130:** beim Oeffnen gelbbraun, Mitte heller, beim Schließen graublau, rasch verschwindend. **150:** beim Oeffnen ziemlich konstantes Gelbbraun. **180:** beim Oeffnen sehr deutliches Gelbbraun, beim Schließen undeutlich graublau, rasch verschwindend. **300:** mit Rohr heller gelb (ockergelb). **360:** immer noch sehr deutlich gelbbraun, beim Schließen deutlich graublau, nach einigen Sekunden verschwindend. **525:** dasselbe.

Fixationszeit 180 Sekunden; Beobachtung auf der beleuchteten Fläche (Helligkeit D):

Versuch 25: Versuchsbedingungen wie bei Versuch 23. Während der Fixationszeit sind gleichzeitig verschiedene pulsierende Schatten wahrnehmbar, synchron mit dem Radialpuls. **10:** sehr starke Verdunkelung. **30:** Mitte gelb, Peripherie purpurrot. **50:** purpurrot, Mitte gelbrot. **70:** purpurrot. **80:** immer noch stark verdunkelt, durch Schließen des Auges auffrischbares Rot. **105:** gelblich. **130:** hellere Stellen gelblich, dunklere bläulichgrau. **180:** gelblich, nach Schließen des Auges undeutlich. **210:** gelbbräunlich, im Vergleich zum andern Auge gelblich. **300:** gelbbräunlich, nicht mehr sehr stark verdunkelt. **360:** mit Rohr etwas heller. **420:** gelblichbräunlich mit leichtem Stich ins Orange; seitdem das Rot verschwunden ist, hat das Gelb immer leichten Stich ins Orange. **480:** mit Rohr ist dagegen diese Nuance undeutlich. **500:** schwer bestimmbares Ockergelb. **525:** Zentrum heller gelb als Peripherie. **600:** undeutliches Blaßgraugelb. Mitte heller als Peripherie. **690:** immer noch gelbe Nuance im Vergleich zum andern Auge. **720:** Wiederauffrischung durch Schließen des Auges ist unsicher.

Fixationszeit 300 Sekunden; Beobachtung auf der beleuchteten Fläche (Helligkeit D):

Versuch 26: Wie Versuch 27. (Fixationszeit 240 Sekunden statt 300.)

Versuch 27: Versuchsbedingungen wie bei Versuch 23. **10:** zuerst starke Verdunkelung, in der Mitte ein bläulicher Schimmer. **30:** dunkelgraublau. **50:** hochgradige Verdunkelung. **60:** graublau. **65:** Peripherie dunkelpurpur. **90:** Mitte graublau. **115:** helle Stellen zitronengelb. **150:** graugelblich, Zentrum und Peripherie ungefähr gleich hell. **180:** das Gelb hat Stich ins Orange. **200:** Zentrum etwas heller als Peripherie. **230:** helle Stellen mehr zitronengelb, dunklere Stellen bräunlichgelb mit Stich ins Orange. **300:** mit dem andern Auge deutlich bläulichgrau, besonders deutlich mit Rohr. **340:** mit Rohr geblendetes Auge ockergelb, anderes Auge bläulichgrau. **420:** Farbenwahrnehmung für Grün am geblendeten Auge stark herabgesetzt. **705:** N. undeutlich graugelb.

Versuch 28: Wie Versuch 27.

Fixationszeit 300 Sekunden; Beobachtung auf der beleuchteten Fläche (Helligkeit E):

Versuch 29: Versuchsbedingungen wie bei Versuch 23. Während der Fixation ist deutlich Pulsation wahrnehmbar. Ein undeutliches Netz scheint über das ganze Gesichtsfeld ausgebreitet zu sein und wird durch Pulsation deutlich. Sofort nach der Fixation gelbrot. **15:** rot. **40:** gelbrot, anderes Auge bläulich. 55: gelblich. **65:** anderes Auge blau. **85:** zitronengelb, beim Schließen undeutlich graublau, beim Oeffnen gelb, Spur rötlich. **135:** anderes Auge sieht alles bläulich für mehrere Sekunden, Auffrischung deutlich. **180:** immer noch deutlich gelb (Natriumflamme). **240:** gelb bis gelbgrünlich. **330:** deutlich gelblich. **370:** dunklere Stellen mit Stich ins Orange. **480:** blasser gelblich, Kontrast zwischen rechtem und linkem Auge nimmt ab. **600:** noch deutlich, Kontrast zwischen links und rechts geringer.

Versuch 30: Wie Versuch 29.

Fixationsdauer 300 Sekunden; Beobachtung auf der beleuchteten Fläche (Helligkeit E):

Versuch 31: Versuchsbedingungen wie bei Versuch 23. Während der Fixation ist die obenerwähnte Pulsation wahrnehmbar. **30:** gelblichrot. **50:** Gelb überwiegt. Bei akkommodationslosem Blicken nimmt das Rot zu, bei Fixation der Scheibe nimmt das Rot wieder ab. **90:** Mitte etwas bläulich, Peripherie purpur. **160:** mehr gelb, Differenz zwischen rechts und links

nicht mehr sehr groß. **225:** Gelb wird etwas blasser, dunklere Stellen etwas orangefarben. **300:** Differenz zwischen beiden Augen nur noch gering. **345:** dunklere Partien von schwach schmutzig-orangefarbenem Schein umhüllt, helle Stellen deutlich schwefelgelb. **540:** blaßgelb. **690:** noch deutlich gelber Schimmer, besonders an dunkleren Flächen. **1080:** immer noch undeutlicher gelber Schimmer, an dunkleren Stellen mit Stich ins Orange, nur wahrnehmbar beim Vergleich beider Augen.

Versuch 32: Es gelten die nämlichen Bedingungen wie für Versuch 31. **15:** rotgelb, anderes Auge schön grün. **35:** rotgelb. **60:** rotgelb, anderes Auge grauweiß. **90:** rotgelb, einzelne Partien gelber. **110:** gelb überwiegt. **140:** dunklere Stellen mit Schimmer nach Rötlich. **160:** gelb mit Spur rot, besonders an der Peripherie. **200:** dasselbe. **240:** strohgelb, Rot verschwunden, gelbe Tapete hat noch rötlichen Anflug. **300:** strohgelber Kasten des Photometers wird mahagonibraun. **360:** Status idem, schwächer, Gelb noch deutlich.

Bemerkung: Während der in allen vorhergehenden Versuchen beschriebenen Stadien des Gelbsehens wurde beobachtet, daß das Gelb an heller beleuchteten Stellen mehr die Nuance von Schwefelgelb hat, an den weniger stark beleuchteten mehr die Nuance von Orangegelb. Dieses letztere zeigt sich sehr deutlich dadurch, daß besonders gelb oder braun gefärbte Körper einen starken Stich nach Rot erhalten. Blaßrot gefärbte Körper erscheinen intensiver rot. Auffallend ist z. B. die Veränderung der Farbe eines Ziegeldaches, der Rinde eines Baumes, des Rostes eines Brückengeländers etc.

Versuche 33 und 34: Aehnlich den vorigen Versuchen.

Blendungsversuche mit von einer Schneefläche reflektiertem Sonnenlicht.

Versuchsbedingungen: *Ort:* Südabhang des Distelberges bei Aarau, Höhe 450 m ü. M.

Die Versuche wurden während der Monate Januar bis April ausgeführt. Es wurden stets sonnige Tage gewählt, und zwar die Zeit von ½11 bis 1 Uhr. Photometrisch bestimmt wurde an zahlreichen Tagen 1. die Helligkeit der Schneefläche, 2. die Helligkeit im Schatten eines Hauses, 3. die Helligkeit des Korridors dieses Hauses, welcher uns als Beobachtungsraum diente. Der Korridor war 5 m lang, 2 m breit und 3 m hoch nach Norden durch eine Tür verschließbar. Ueber der Tür befand sich ein 30 cm hohes, 1,5 m breites Fenster, das nie verdunkelt wurde. Ueber die Größe der Helligkeiten und über die Bezeichnung s. oben S. 27. Es wurde sowohl die Helligkeit bei offener, als bei geschlossener Tür bestimmt, und zwar fand die Bestimmung statt an einer das Südende des Korridors abschließenden weißen Tuchfläche. Bei geschlossener Tür war diese letztere somit nur von dem erwähnten Türfenster erhellt. Der Boden dieses Ganges bestand aus schwarzen und dunkelrotbraunen Zementplatten; die Wände waren grauweiß mit Ölfarbe gestrichen; seitlich befand sich ein gelbbraunes Treppengeländer. Die übrigen Versuchsbedingungen waren dieselben: Die Pupille war teilweise partiell, teilweise ad maximum erweitert, teilweise fanden die Versuche bei nicht erweiterter Pupille statt. Das zum Versuche benutzte Auge war jeweilen 15 bis 30 Minuten ausgeruht (mit Watte und Augenklappe verschlossen), ebenso das Kontrollauge. Das Zurücklegen des Weges vom Fixationsort bis in den Korridor erforderte ca. 30 Sekunden.

Versuch 51: Fixationszeit 30 Sekunden; keine Mydriasis. Beobachtung im reagierenden Licht. Bei Helligkeit A sofort deutlich rosarot. Bei Helligkeit B: **40:** Tuch schön purpur. Bei Helligkeit C: **50:** Tuch sofort dunkel mit moosgrünem Schimmer, keine Umrisse wahrnehmbar. Bei Helligkeit B: **70:** purpur, in der Mitte bläulich. **90:** bläulich, mit gelben Flecken. **120:** Gelblich dominiert, im Vergleich mit dem andern Auge ist die Helligkeit vermindert. **180:** graugelblich, Differenz zwischen beiden Augen gering. **360:** keine deutliche Farbendifferenz mehr; das weiße Tuch erscheint dem geblendeten Auge etwas dunkler.

Versuch 46: Fixationszeit 60 Sekunden; geringe Atropinmydriasis. Die Sonne scheint durch Nebel, so daß nur ein undeutlicher Schatten entsteht.

Bemerkung: Vor der Blendung erscheint das weiße Tuch dem mydriatischen Auge viel heller, als dem mit nicht erweiterter Pupille. Trotzdem ist, wenn das Rohr vor das nicht mydriatische Auge gehalten wird, wobei beide Augen offen sein müssen, die Kreisfläche mit Ausnahme der ersten Sekunden nach Ausruhen des Auges heller als die Umgebung, jedoch weniger hell, als wenn das Rohr vor das mydriatische Auge gehalten wird. Dies beweist, daß es sich um Kontrastwirkung handelt. Die Differenz zwischen mydriatischem und nicht mydriatischem Auge ist am stärksten unmittelbar nach Wegnahme des Verbandes, nimmt aber schon nach wenigen Sekunden erheblich ab. Werden beide Augen offen gehalten, so erscheint die Kreisfläche auch dann heller, wenn das nicht durch das Rohr blickende Auge bedeckt wird. Durch diese Bedeckung scheint jedoch die Helligkeit in ganz geringem Grade abzunehmen.

Beobachtung während des Fixierens: 15 Sekunden nach Beginn der Fixation tritt ein hellblau-lilafarbenes Skotom auf. Über das ganze Gesichtsfeld breitet sich ein großmaschiges, regelmäßig sechseckiges Feldernetz aus, dessen Ränder lila sind. Beobachtung im reagierenden Licht, Helligkeit A: sofort deutlich rosa. Helligkeit B: **20:** alles dunkel. Helligkeit C: **25:** alles rosa. Helligkeit B: **65:** alles rosarot. **80:** etwas gelblich im Rot, besonders zentral. **100:** gelber Ton nimmt zu. **115:** blaßorange. **130:** mehr gelb. **155:** zitronengelb. **180:** nach unten intensiver gelb, nach oben weniger intensiv gelb (entsprechend der Schneefläche). Helligkeit A: **230:** beim Hinausblicken ins Freie erscheint dem mydriatischen Auge alles bedeutend heller, Farbendifferenzen sind jedoch hierbei nicht deutlich wahrnehmbar. Helligkeit B: **270:** die Hand erscheint ikterisch im Vergleich mit dem anderen Auge. Helligkeit C: **330:** nach einigen Sekunden, vom Türschließen an gerechnet, nimmt das Gelbsehen zu. Helligkeit B: **390:** das Tuch erscheint links noch heller, ohne daß deutliche Differenzen in der Farbe wahrzunehmen sind. Helligkeit C: **440:** noch deutlich graugelb bis grünlich. **510:** dasselbe. **570:** Auffrischung gelingt. **600:** Versuch wird abgebrochen.

Versuch 52: Versuchsbedingungen wie bei Versuch 46. Neuschnee seit einem Tag. Starke Mydriasis. Fixationszeit 60 Sekunden. Beobachtung im reagierenden Licht: Helligkeit A: sofort alles rötlich. Helligkeit C: **30:** sofort für ca. 4 Sekunden tiefblau, dann alles dunkel. Helligkeit B: **40:** Tuch rot. Helligkeit C: **45:** schön grün. **65:** dasselbe. **90:** rosarot. **120:** rosa, Mitte gelblich. **180:** immer noch rötlich, Gelb nimmt überhand. **195:** schmutzig graugelb. **250:** blaß zitronengelb. Beide Augen werden 10 Sekunden geschlossen; nach Oeffnen graugelbgrün. **330:** dasselbe, mit Rohr, wobei beide Augen offen, deutlichere Differenz. **450:** dasselbe, weniger scharf, aber immer noch deutlich. Wird das Rohr vor das nicht geblendete Auge gesetzt, so ist der Kreis lila, die Umgebung gelbgrün. Das Lila ist ausgeprägter, als beim selben Versuch mit dem Rohr vor dem geblendeten Auge, wo es auch erscheint (als Komplementärfarbe). **600:** besonders mit Rohr ist die Differenz sehr deutlich. **660:** Versuch abgebrochen.

Versuch 38: Versuchsanordnung wie bei Versuch 46; Mydriasis (Kokain-Euphthalm). Fixationszeit 240 Sekunden. Beobachtung während der Fixation: Zentrales Schlangengewimmel von grünem Ton. Beobachtung im reagierenden Licht: Helligkeit A: **20:** rosarot. **60:** rosarot. Helligkeit B: 25: rosarot. **65:** rosarot. Helligkeit A: **105:** Rosa schwächer. Helligkeit B: **110:** Rosarot deutlicher, als bei Helligkeit A. Helligkeit A: **165:** rosa noch deutlich, aber schwächer. Helligkeit B: **180:** Mitte etwas dunkler, graurosa. Helligkeit A: **240:** Differenz zwischen beiden Augen geringer. Helligkeit B: **255:** Differenz deutlich, Ton graurosa. **285:** Auffrischung wirkt nicht. **300:** Rosa nicht mehr deutlich. Helligkeit C: **360:** schwach gelbgrünlich. Helligkeit B: **375:** keine Differenz. Helligkeit C: **390:** deutlich gelblich. **480:** deutlich gelblich, mit dem geblendeten Auge deutlicher als vorher. **540:** gelb noch deutlich, nicht nur zentral. **600:** immer noch

Differenz. **780:** mit nicht geblendetem Auge grauweiß, mit geblendetem Auge Stich ins Gelbliche. Versuch abgebrochen.

Versuch 39: Versuchsanordnung wie bei Versuch 38. Leicht verschleierte Sonne, Fixationszeit 240 Sekunden. Keine Mydriasis. Während der Fixation leicht erzeugbares dunkelpurpurrotes Skotom. Pulsation. Nach Beendigung der Fixation erscheint auf dem Gang zum Korridor der Schatten des Hauses sofort rasarot. Beobachtung im reagierenden Licht: Helligkeit A: sofort rosarot. Helligkeit B: **30:** gelbgrün-moosgrün. **50:** bläulichrosa. Helligkeit A: **55:** hellrosa. Helligkeit B: **75:** blaßgraurosarot. Mitte dunkler mit Stich ins Graublaue. Helligkeit A: **105:** weniger rosa, Bläulichgrau überwiegt. Helligkeit B: **110:** viel deutlicher rosa. **150:** blaßrosa, auf gelben Tönen, Stich ins Orange. Helligkeit C: **155:** deutlicher rosa. Helligkeit A: **195:** Stich ins Gelbliche. Helligkeit B: **200:** Spur bläulichgrünlich. Helligkeit C: **240:** graugelblich. Helligkeit B: **285:** graugelblich. **310:** noch deutliche Differenz zwischen linkem und rechtem Auge. Helligkeit C: **315:** Differenz deutlicher als bei Helligkeit B. Helligkeit B: **420:** das Gelbliche hat Stich ins Grünliche (zitronengelb).

Versuch 41: Versuchsanordnung wie bei Versuch 38. Himmel teilweise bewölkt und daher etwas wechselende Helligkeit. Mydriasis. Fixationszeit 300 Sekunden. Beobachtung während der Fixation: Während der ersten Sekunden erscheint der Schnee heller als nach einigen Sekunden. Hier und da gelbliches, rasch wieder verschwindendes Skotom. Beobachtung im reagierenden Licht: Helligkeit A: sofort rosa. Helligkeit B: **30:** Tuch dunkel, Fenster ob der Tür schön rot. **120:** Tuch dunkelrot, Mitte gelblich, dann wieder alles rot. **130:** einzelne gelbliche Partien im Rot (unebene Schneefläche). **165:** auch die Wände des Korridors rot. **180:** Fenster ob der Tür rot, der andere Beobachter, der nur wenig exponierte, sieht dies gelblich. **210:** rot schwächer, auf dem Tuch aber noch deutlich. Gleichzeitig Fenster schon gelblich. **230:** Tuch gelblich, Fenster hellgelb. **270:** Tuch gleichmäßig zitronengelb. **300:** dunkelrote Platten des Zementbodens werden viel lebhafter rot. **360:** dunkle Stellen stets mehr orangerot, helle haben ein Zitronengelb. **390:** das Fenster zeigt nur noch Differenzen in weiß: dem geblendeten Auge erscheint es weniger hell. Helligkeit C: **430:** Schnee im Schatten des Hauses erscheint dem geblendeten Auge heller. Helligkeit B: **480:** durch den Blick ins Freie tritt für einige Sekunden Rotsehen auf, mit einzelnen hellgrünen Flecken drinnen. Weil dadurch der Versuch gestört ist, wird abgebrochen.

Versuch 42: Versuchsanordnung wie bei Versuch 41. Keine Mydriasis. Fixationszeit 300 Sekunden. Beobachtung während der Fixation: Beim Fixieren tritt in der Mitte ein zitronengelber Fleck auf, der wieder verschwindet. Hier und da geht ein meergrüner Schimmer über den Schnee hinweg. Hier und da ist der Schnee rosarot. Nach zwei Minuten dauernder Fixation erscheint die Flamme eines Streichholzes schön strontiumrot. Nach vier Minuten ist das Schneelicht nicht mehr so unangenehm blendend wie im Anfang. Es erscheinen Schlangenfiguren, in deren Bereich hier und da ein gelber Fleck. Beobachtung im reagierenden Licht: Helligkeit B: **40:** alles moosgrün, bei offenem, wie bei geschlossenem Auge. Helligkeit C: **70:** alles dunkel, weißes Tuch gelbgrünlich, mit nicht geblendetem Auge bläulich. **105:** düster rot. **135:** in der Mitte dunkler, mit leichtem Stich nach Lila. Stark auffrischbar nach Schließen des geblendeten Auges. **165:** dunklere Stellen noch rötlich, hellere mehr gelblich. **200:** Fenster ob der Tür zitronengelb. **220:** Tuch bläulich mit Stich ins Gelbliche, helle Stellen zitronengelb, dunklere Stellen mit Stich ins Grauorange. **280:** Fenster hellgelb, gelbbraune Treppe erscheint hellorange, beschattete Stellen mehr nach rot, hellere mehr nach gelb. **360:** bei geschlossenem Auge undeutlich. **420:** Tuch gelblich. **425:** Hand erscheint mit geblendetem Auge betrachtet ikterisch. **480:** Tuch noch deutlich gelblich. **485:** Betrachten des Fensters bei Vergleich beider Augen gibt nur noch schwache Differenz. **555:** Differenz am Tuch noch deutlich. **560:** Differenz am Fenster undeutlich. **585:** Treppe mit geblendetem Auge noch deutlich hellorange. **630:** Tuch immer noch etwas graugelblich. Versuch abgebrochen.

Versuch 43: Versuchsanordnung wie bei Versuch 42: Mäßige Mydriasis. Fixationszeit 420 Sekunden. Beobachtung während der Fixation: Nach 80 Sekunden erscheint ein weißes Papier schön rosa. Nach zwei Minuten eine Streichholzflamme karminrot. Beobachtung im reagierenden Licht: Sofort nach der Fixation beim Gang ins Haus erscheint alles rosa. Helligkeit B: **30:** alles dunkel. **75:** rötlicher Schimmer, Mitte des Tuches etwas gelblich. **140:** alles rot, gelber Fleck wieder verschwunden. **195:** Rot blaßt ab, Auffrischung nützt nichts. **255:** kein Rot mehr, auch kein Gelblich. Helligkeit C: **345:** kein deutliches Gelb. **350:** deutlich blaßgelb, einige Sekunden nach dem Türschluß noch deutlicher werdend. Helligkeit B: **420:** nur noch Helligkeitsunterschiede. Dem geblendeten Auge (Mydriasis) erscheint alles in etwas hellerem Ton. Helligkeit C: **425:** immer noch deutlich gelb. **480:** immer noch Stich ins Zitronengrünliche. **540:** dasselbe. Abgebrochen.

Versuch 48: Versuchsbedingungen: Viel Sonne, starke Mydriasis. Fixationszeit 600 Sekunden. Beobachtung während der Fixation: Sofort bläulicher Ton, nach 20 Sekunden lila, nach 60 Sekunden graugrün. Die Helligkeit hat scheinbar nachgelassen. **140:** eine Stange erscheint auf der sonnenbeschienenen Seite mit rotem, auf der schattigen Seite mit grünem Rand. Diese Farben treten auf, soweit der Hintergrund der Stange vom Schneefeld gebildet wird; wo der dunkle Wald den Hintergrund bildet, sind sie nicht sichtbar. An einem wagerechten Stück einer aus armdicken Tannen gefertigten Einzäunung ist der untere Rand rot, der obere undeutlich. Beobachtung im reagierenden Licht: Helligkeit A: Sofort deutliche Erythropsie mit Stich ins Gelbliche. Helligkeit B: **10:** gelb mit Stich in Orange. **15:** deutlich orangegelb. **30:** dasselbe. **45:** rötlicher Ton nimmt etwas zu. **60:** rot etwas leuchtender. Helligkeit A: **70:** beim Blick ins Freie erscheint dem geblendeten Auge alles heller, gelblich. Helligkeit B: **105:** blasser gelb. Helligkeit A: **110:** dasselbe. Helligkeit C: **150:** zunächst Verdunkelung, nach etwa 20 Sekunden deutlich gelber Ton, mehr grau bis zitronengelb. **160:** abgebrochen.

Versuch 49: Versuchsbedingungen wie bei Versuch 48. Starke Mydriasis. Fixationszeit 840 Sekunden. Beobachtung während des Fixierens: grün und rote Ränder weniger deutlich, als beim vorigen Versuch beobachtet; deutlich nur der untere Rand an der wagrechten Tannenstammeinzäunung. Beobachtung im reagierenden Licht: Helligkeit A: sofort gelbrot. Helligkeit B: **30:** ein weißes Papier erscheint orangerotgelb. **110:** Tuch wie Papier deutlich rosa. **120:** rosa. **230:** deutlich rot mit Stich ins Gelbliche, besonders die obere Partie des Tuches. **270:** gelblich, die obere Partie blasser. **360:** undeutlicher. Helligkeit C: **370:** deutlich gelb. Helligkeit B: **390:** nur noch Helligkeitsdifferenz. **400:** abgebrochen.

Versuch 45: Versuchsbedingungen: Spaziergang von 20 Minuten Dauer auf der sonnenbeschienenen Schneefläche. Fixationszeit 1200 Sekunden.

Bemerkung: Ueber die Versuche mit Abblendungsrohr vgl. Bemerkung zu Versuch 16.

Beobachtung im reagierenden Licht: Helligkeit B: Zuerst gelbrot. **15:** rosarot. Helligkeit A: **20:** Schnee gelblich. Helligkeit C: **70:** Tuch dunkel, dann bläulich, Wände orange. Helligkeit B: **105:** Tuch bläulich, dunklere Stellen gelb. Helligkeit C: **180:** gelblich. **480—600:** wird durch das mehrfach erwähnte schwarze Rohr gesehen, so erscheint — beide Augen sind offen — auf dem Tuch mit dem geblendeten Auge eine schön gelbe Kreisfläche auf lilafarbenem Hintergrund, die bei Helligkeit B (Oeffnen der Tür) blaßlila wird. **720:** dasselbe. Das Gelb wird mehr weiß.

Versuch 53: Versuchsbedingungen wie bei Versuch 52, doch wird mit dem schwarzen Rohr fixiert und beobachtet. Keine Mydriasis. Fixationszeit 60 Sekunden. Beobachtung im reagierenden Licht: Helligkeit A: Sofort leuchtend rosa. Helligkeit B: Gelbe Tür hochorange. Helligkeit C: Tuch sofort schön gelb mit rötlichem Rand. **45:** Gelbpurpur nimmt überhand von der Peripherie her, bald gelb, bald purpur. **60:** schön purpurrot.

75 : von der Peripherie her etwas blaßgelblicher Ton. **105 :** das Purpurrot kommt hie und da wieder, geht zuerst in Dunkellila, dann in Blau, dann in Graublau über. Am Rand des roten Bildes wird von Zeit zu Zeit ein momentanes Aufblitzen von feinen, kurzen Linien beobachtet. **160:** Graublau wechselt mit Gelb, Purpur ist in Graublau übergegangen. **220:** hellgelb mit Stich ins Blaßzitronengelb. **320 :** Zentrum blaßgelb, Umgbeung schön lila. **390 :** dasselbe, nicht mehr so starke Differenz. **600 :** bei geschlossenem Auge ein rasch verschwindendes blaßbläuliches Lila-Nachbild, das leicht wieder hervorgerufen werden kann. **610 :** Differenz beim Wiederöffnen des Auges noch deutlich vorhanden.

Versuche 54 und 55 : Wie Versuch 53.

Versuche mit von einer weissen Papierfläche von 4/3 m Grösse reflektiertem Sonnenlicht.

Versuchsbedingungen: Ort: Distelberg, Helligkeiten, wie vorher.

Versuch 56 : Mydriasis. Fixationszeit 60 Sekunden. Beobachtung während der Fixation: Sofort bei der Fixation Schlangenlinien, zentrales, auftauchendes und verschwindendes Skotom, in der Mitte grüngelb, ringsum rosarot; grün marmorierte Flecke, die rasch verschwinden. Beobachtung im reagierenden Licht: Helligkeit A: während des Ganges von der Fixationsfläche in den Korridor, der ca. 30 Sekunden erfordert, tritt sofort intensive Erythropsie im Freien auf bei Vergleich mit dem anderen Auge. Helligkeit B: 30 : Tuch mehr bläulich. **240 :** gelbliche Partien untermischt mit Rosarot. **360 :** schwach gelblichgrau, nichts Rotes mehr. **480 :** schwach zitronengelb, fast nur noch Helligkeitsdifferenz. Helligkeit C: **510 :** noch etwas gelblicher Ton. Gelbbraune Gegenstände (Treppengeländer) erhalten Stich nach Mahagonibraun. **600 :** schwach zitronengelb, Differenz noch deutlich.

Versuch 60 : Versuchsbedingungen wie bei Versuch 56. Starke Mydriasis. Fixationszeit 60 Sekunden. Beobachtung während der Fixation: wassergrünes Skotom. Beoobachtung im reagierenden Licht: Helligkeit A: sofort starke Erythropsie; *mit Erioviridinlösung*: Stich ins Rötliche. Helligkeit B: *mit Erioviridinlösung*: alles dunkel, es ist kein N. deutlich wahrnehmbar. **70 :** das Tuch wird erkennbar, gelblich, Peripherie rötlich. **150 ;** Tuch rosarot mit gelblichen Partien. **190 :** Rosa erhält Stich ins Violette. **220 :** Gelb wird stärker. **240 :** zitronengelb.

Versuch 67 : Versuchsbedingungen wie bei Versuch 60. Fixationszeit 60 Sekunden. Fixation mit 9 mm dickem Schwerflint 0,198 und seitlichem Lichtabschluß. Beobachtung im reagierenden Licht: Helligkeit A: sofort starke Erythropsie.

Versuch 58 : Versuchsbedingungen wie bei Versuch 56. Fixationszeit 120 Sekunden. Mydriasis. Beobachtung im reagierenden Licht. Helligkeit A: sofort deutliche Erythropsie. Helligkeit C: mit Erioviridinlösung violett, mit dem anderen Auge blaßgrünlich. **240 :** mit Erioviridinlösung Mitte zitronengelb, Peripherie violettrötlich. **300 :** Mitte gelblich, Peripherie rötlich. **320 :** ohne Erioviridinlösung stärker gelblich, kein Rot mehr.

Versuch 62 : Versuchsbedingungen wie bei Versuch 58. Fixationszeit 120 Sekunden. Starke Mydriasis. Beobachtung im reagierenden Licht: Helligkeit A: sofort rot. Helligkeit B: 30 : blaßbläulich mit gelbem Rand. **60 :** blaßblau, gelber Rand, noch peripherer dunkelblauer, hier und da ins Rötliche spielender Rand. **100 :** Peripherie rötlich, innerhalb des roten Ringes ein gelber. **160 :** Kreis ist rotgelb. **180 :** intensiv gelbrot. **200 ;** fast goldgelb. **220 :** goldgelb mit Stich nach Orange. **260 :** Intensität nimmt ab. **270 :** mehr zitronengelb.

Versuche mit von einer aus weissem Linnen gebildeten Fläche reflektiertem Sonnenlicht.

Versuchsbedingungen : Ort: Distelberg. Beide Beobachter hatten sich ca. 1 Stunde lang ohne Verband an der Sonne bewegt.

Versuch 73: Erster Beobachter das Auge 10 Minuten verbunden, zweiter Beobachter das Auge eine halbe Stunde verbunden. Wolkenloser Himmel. Fixationszeit 120 Sekunden. Beobachtungen während der Fixation: Das Skotom ist im Anfang stets hochorange, erinnert an 82 bis 107 des code des couleurs von Klincksieck und Valette. Nach wenigen Sekunden wird es gelber, Rot geht über in Lila, Gelbrot in Gelb bis Gelbgrün. Der Gang vom Feld in den Korridor erfordert ca. 1 Minute. Beobachtung im reagierenden Licht: Helligkeit B: sofort violett, ohne Rohr, durch das Rohr aber schon gelb. **20:** das Gelb wird rötlich. **60:** sehr schön rot, besonders durch Rohr (beide Beobachter). **75:** Rot hat einen Stich nach Gelb. **130:** rot entsprechend 106 bis 116 des c. d. c. **160:** erster Beobachter gelb entsprechend 191, zweiter Beobachter entsprechend 141 c. d. c. **210:** dasselbe bei beiden. **240:** erster Beobachter 246, zweiter Beobachter 166 c. d. c. **315:** erster Beobachter 221, zweiter Beobachter 171 c. d. c. **435:** Rohr vor das ungeblendete Auge. Zentrum weiß, Umgebung Spur lila. **480:** bei raschem Wechsel des Rohres beiderseits fast gleich, auf dem geblendeten Auge jedoch eher wie 0171 c. d. c., mit dem nicht geblendeten Auge mehr gelblichgrün. Helligkeit C: **600:** Rohr vor das ungeblendete Auge violett. vor das geblendete Auge gelbgrün. Beiderseits Peripherie komplementär. 228 B bis 228 C und ca. 0521 c. d. c. **900:** Status idem. Helligkeit B: **930:** fast nur Helligkeitsdifferenz (Spur lila mit Rohr vor dem geblendeten Auge. Helligkeit C: **840:** eine sehr scharfe Auffrischung des Violett ist möglich, wenn man das Rohr auf eine hellere Stelle richtet (Oberlicht ob der Tür). **1080:** wie vorher: ungeblendetes Auge violett 0521, geblendetes Auge gelbgrün 303 A bis 278 A c. d. c.

Versuch 66: Versuchsbedingungen: Von Papierfläche reflektiertes Sonnenlicht. Fixationszeit 180 Sekunden. Die Blendungsfläche wird durch ein Eisenoxydglas fixiert, das den größten Teil des Ultraviolett absorbiert. Beobachtung während der Fixation: im Anfang alles gelb, nach 60 Sekunden alles weißlich, freie Peripherie des Gesichtsfeldes leuchtend blau. Beobachtung im reagierenden Licht: Helligkeit A: hochgradige Erythropsie. Helligkeit B: **60:** im Korridor noch deutliche Erythropsie. **100:** noch purpurrot. **120;** Purpur verdrängt durch Blaugelblich. **160:** rechts oben bläulichgrau, unten gelblich. **180:** alles blaugelblich.

Versuch 59: Versuchsbedingung: weiße Papierfläche. Fixationszeit 300 Sekunden. Beobachtung während der Fixation: hellbläulicher Schimmer. Beobachtung im reagierenden Licht: sofort deutliche Erythropsie. Helligkeit B: **15:** moosgrün. **20:** bei Blick durch die offene Tür ins Freie alles rot. **60:** das Tuch, durch die Erioviridinlösung gesehen, ganz dunkel. **110:** violett mit Stich ins Rote. **160:** bläulich, Peripherie dunkelviolett. **190:** Stich ins Grünliche. **200:** Mitte gelbgrün, Peripherie mehr bläulichgrün. Ohne Erioviridinlösung Tuch schön zitronengelb. Beim Blick ins Freie durch die offene Tür alles zitronengelb.

Versuch 63: Versuchsbedingungen: Distelberg, weiße Papierfläche, abwechselnd Sonne und Wolken, Mydriasis. Beobachtung des Gesichtsfeldzentrums. Fixationszeit 300 Sekunden. Beobachtung während der Fixation: dunkelbläulichgraues Skotom, das wieder verschwindet, um von Zeit zu Zeit wieder aufzutreten. Beobachtung im reagierenden Licht: Helligkeit A: sofort rot, im Zentrum keine Differenz. Helligkeit B: zuerst alles dunkel. **50:** noch dunkel. **65:** blau bis blaugrau. **100:** gelbrot. **120:** vollkommen rot, Zentrum etwas dunkler. **140:** rot mit Stich ins Orange. **180:** noch rot, beim Blick ins Freie schon deutlich gelb. **200:** geht in Gelb über. **245:** blaßzitronengelb. Versuch abgebrochen.

Versuch 64: Versuchsbedingungen wie bei Versuch 63, jedoch keine Mydriasis. Fixationszeit 300 Sekunden. Beobachtung während der Fixation: Zentrum zitronengelb, Peripherie lila, dann Zentrum etwas mehr grau, das Ganze blaßrosa. Nach 75 Sekunden Fixation ist die Peripherie blaßrosa, die mittleren Partien sind dunkelblaugrau. Pulsation sehr deutlich. Nach 150 Sekunden sind dunklere, von der Sonne beschienene Gegen-

stände bläulichrot. Ein vorgehaltenes weißes Papier erscheint weiß ohne Unterschied zwischen Zentrum und Peripherie. Beobachtung im reagierenden Licht: Helligkeit A: sofort bläulichrötlich, hellere Gegenstände schöner rot. Helligkeit B: **30:** im Korridor alles dunkel. **45:** moosgrün. **60:** orangefarben, oben blaugrau. **90:** lila. **120:** gelbrot. **180:** unterer Teil gelbrötlich, oberer Teil bläulichgrau. **210:** rot nimmt ab. **230:** blaß zitronengelb, aber Helligkeit geringer als am nicht geblendeten Auge. **300:** Sehen für die Nähe noch immer undeutlich. Zentrum und Peripherie war stets gleich. **435:** grau mit Stich ins Gelbliche. Versuch abgebrochen.

Bemerkung: Grünsehen tritt immer nur am vollständig verdunkelten Gesichtsfeld auf, daher fehlt es bei größerer Helligkeit. Wo Grünsehen ist, können keine Umrisse erkannt werden.

Versuch 65: Versuchsbedingungen wie bei Versuch 63. Totale Mydriasis. Die verwendete Erioviridinlösung läßt am Spektroskop kein Rot mehr durch. Fixationszeit 300 Sekunden. Beobachtung während der Fixation: Sofort stahlblaues Skotom. Beobachtung im reagierenden Licht: Helligkeit B: **30:** dunkelgrün. **60:** *durch Erioviridinlösung;* schwach rosa. **100:** sehr stark rot. **180:** mehr gelbrot. **200:** gelblich. **230:** verschwindend, dann wieder auftauchend, Zitronengelb dominiert immer mehr. **240:** zitronengelb. **300:** *ohne Erioviridinlösung:* geblendetes Auge hat noch schwachen rosa Schimmer, nur im Vergleich mit dem ungeblendeten Auge wahrnehmbar. **420:** fleckig, schwach zitronengelblich. **450:** Gelb nimmt zu. Versuch abgebrochen.

Versuch 74: Versuchsbedingungen wie bei Versuch 73. Distelberg, Fixationsfläche aus weißem Linnen. Fixationszeit 300 Sekunden. Beobachtung im reagierenden Licht: Beim Einmarsch vom Fixieren zum Korridor scheint der Boden für einige Sekunden einen deutlich rötlichen Ton zu haben. Helligkeit B: sofort violettblau, mit Rohr gelb. **20** bis **30:** Gelb wird zu Rot. **60:** sehr schön rot mit Stich nach Orange. **130:** mehr orange 111 c. d. c. **165:** gelborange 161 c. d. c. **210:** gelborange 146 c. d. c. **240:** dasselbe. **300:** dasselbe. **310:** Rohr vor das ungeblendete Auge: Kreis gelb 146 c. d. c. (erster Beobachter) und 166 c. d. c. (zweiter Beobachter). Umgebung lila, aber nicht deutlich. Deutlicher wird die lila Färbung, wenn das Rohr vor das geblendete Auge gehalten wird. Kreis lila 521 c. d. c., Umgebung gelb ca. 228 B des c. d. c. **510:** dasselbe. **600:** das Rohr vor dem ungeblendeten Auge: Kreis gelb 203 B c. d. c., Umgebung lila 0521 c. d. c. Versuch abgebrochen.

Versuch 72: Versuchsbedingungen wie bei Versuch 74. Sonne etwas bedeckt, so daß nur undeutlicher Schatten entsteht. Linkes Auge geblendet, rechtes Auge ungeblendet (beide Beobachter). Fixationszeit 600 Sekunden. Keine Mydriasis. Beobachtung während der Fixation: Fixationsskotome haben Farbe 136—141—161—166 des c. d. c. Wechsel bis zu zitronengelb 191 und lila 561, oft mit 256 gefleckt oder von diesem verdrängt. Das Lila kann so dunkel sein wie 532 c. d. c. Orange wird nur im Anfange beobachtet. Später nur gelb und lila. Beim Auftreten eines dieser Skotome sieht man zuerst z. B. eine lila gefärbte, zentrale Partie; nach wenigen Sekunden tritt an der ganzen Peripherie ein gelber Ton auf, der in wenigen Sekunden, überall von der Peripherie nach dem Zentrum wallend, das Lila zum Verschwinden bringt. Nach wenigen Augenblicken ist auch das Gelb verschwunden. Nach einiger Zeit tritt wieder ein Skotom in gleicher oder auch umgekehrter Reihenfolge der Farben auf, so daß das Gelb zuerst zentral gelegen ist. Beobachtung im reagierenden Licht: Während der ersten 10 bis 30 Sekunden nach Schluß der Fixation erscheint während des Marsches nach dem Korridor der Boden rötlich. Der Korridor wird in ca. 1½ Minuten erreicht und die Sekundenzahlen beziehen sich auf den Moment vom Betreten des Korridors an. Helligkeit B: Sofort lila bis blau, beide Beobachter 481 c. d. c. **25:** orange 86 c. d. c. **180:** gelborange 166 c. d. c. **210:** gelborange ca. 141—166 c. d. c. Rohr links: blaßlila. **270** bis **330:** Rohr links blaßlila bis gelblichbläulich. Rohr rechts: blaßgelblich ca. 221 c. d. c. **390:** Rohr links: Mitte schwach bläulich Peripherie, blaßlila. **630:** Rohr links: Mitte grünlichgelblich 303 A, Peripherie schwach lila 553 B c. d. c. **810:** Rohr rechts: ähnlich, jedoch mehr bläu-

lichviolett ca. 478 A c. d. c. **900:** ohne Rohr: mit rechtem Auge noch Spur lila, mit linkem Auge noch Spur grünlich, nur noch geringe Differenz. Helligkeit C (nach Schließen der Korridortür): **910:** mit Rohr: *links* lila 0521 c. d. c., *rechts* gelblich 0296 c. d. c., aber nur für einige Sekunden deutlich, dann rasch abblassend, aber immerhin bis 1200 noch sichtbar. Ohne Rohr: keine Differenz mehr. **1320:** Rohr links: lila, rechts, gelblich. Schließen der Augen für eine Minute bringt keine Auffrischung, eher eine geringe Differenz. **1400:** dasselbe undeutlicher.

Versuch 75: Versuchsbedingungen die gleichen wie bei Versuch 73 und 74. Rechtes Auge geblendet, linkes ungeblendet. Fixationszeit 600 Sekunden. Beobachtung während der Fixation: das schwarzgrüne (wassergrüne) Fixierskotem kann man deutlicher wahrnehmen, wenn man eine Netzhautpartie durch Blicken durch das Rohr eine Zeitlang stärker ermüdet und nachher das Rohr wegnimmt. Nach ca. 2 Minuten kommt gewöhnlich eine Zeit, zu der man keine Skotome mehr sieht. Mit dem geblendeten Auge sehen dann beide Beobachter nicht mehr so hell, man hat den Eindruck, als überziehe sich der Himmel. Belehrt über die Helligkeit wird man dann durch momentanes Abdecken des verbundenen Auges. Nach einigen Minuten sind die lila-gelb Skotome wieder leichter erzielbar. Bisweilen kann das Lila zu Rosa werden. Beobachtung im reagierenden Licht: beim Einmarsch vom Fixieren nach dem Korridor zeigt der Boden in den ersten Sekunden wieder rötlichen Ton. Helligkeit B: Sofort blauviolett, mit Rohr sofort gelb, das nach einigen Sekunden hochgelbrot wird ca. 66 c. d. c. **90:** rot mehr gegen orange. Helligkeit C: **100:** rot weniger leuchtend. **165:** rot ca. 121 c. d. c. **190:** gelborange ca. 166 c. d. c. Rohr links: violett 521 c. d. c. **250:** dasselbe. Helligkeit B: **270:** Rohr rechts: 53 A c. d. c., Rohr links: 328 B c. d. c., Umgebung 503 A c. d. c. **420:** Rohr rechts: 78 A c. d. c., Rohr links: 303 B c. d. c. Helligkeit C: **510:** Rohr rechts: schön lila, Umgebung gelb 166 c. d. c., nach einigen Sekunden 146, dann 103 B c. d. c. **660:** dasselbe. Schluß des Versuches.

Versuch 68: Versuchsbedingungen: Distelberg, weiße Papierfläche, keine Mydriasis. Fixationszeit 900 Sekunden. Beide Beobachter linkes Auge geblendet. Beobachtung im reagierenden Licht: Helligkeit B: **180** bis **210:** deutlich Rot (beide Beobachter), das wieder verschwindet. Nach Schließen des Auges für Sekunden bis 1 Minute Dauer tritt bei beiden Beobachtern wieder sehr schönes Rotsehen auf, so bis 660. Dieses Rot hat mehr lila, Charakter. **840:** immer noch lila, besonders mit Rohr sehr viel schöner. Das rechte, ungeblendete Auge sieht gelblich. **960:** linkes Auge ohne Rohr lila 503 B c. d. c., mit Rohr etwas lebhafter ca. 571 c. d. c. Das Gelb des rechten Auges ohne Rohr entspricht ca. 278 B, mit Rohr ca. 278 D c. d. c. **1440:** immer noch deutlich, aber blasser. **1500:** Mitte gelblich, besonders nach Schließen. Peripherie immer noch blaßlila. Das Gelb verschwindet hier und da, um wiederzukommen. **1680:** Lila mehr grau (erst r Beobachter). Lila noch deutlich (zweiter Beobachter). Gelb im Zentrum wird konstanter (erster Beobachter). **1800:** mit Rohr: Zentrum gelblich, die breite Peripherie lila (erster Beobachter), das gelbe Zentrum wird viel kleiner mit dem Rohr, es handelt sich also nicht um identische Gesichtsfeldgrade mit und ohne Rohr. Das Gelbzentrum ungefähr identisch mit dem Gelb des ungeblendeten Auges, also gleich Kontrast ca. 291 oder 278 C c. d. c. **1890:** Lila mit Rohr viel blasser als 528 A c. d. c. (erster Beobachter). 1920: lila mit Rohr 528 A c. d. c. (zweiter Beobachter). Nach Schließen beider Augen für 60 Sekunden gelbes Zentrum deutlicher (beide Beobachter). Helligkeit C: **1990:** geblendetes Auge mit Rohr gelb, nicht geblendetes Auge mit Rohr lila (beide Beobachter). Helligkeit B: **2000:** geblendetes Auge mit Rohr lila, ungeblendetes Auge mit Rohr gelb (beide Beobachter). **2460:** schließt man die Tür halb, so gibt es eine mittlere Helligkeit, bei der die Farbenwahrnehmung dieselbe ist, ob das Rohr vor das geblendete oder das ungeblendete Auge gehalten wird. Helligkeit C: **2580:** geblendetes Auge mit Rohr gelblich, ungeblendetes mit Rohr blaßlila (zweiter Beobachter). Keine deutliche Differenz (erster Beobachter). **2640:** keine deutliche Differenz (zweiter Beob-

achter). Helligkeit B: **2700:** geblendetes Auge mit Rohr lila, ungeblendetes schwach gelblich (beide Beobachter). **2730:** nur noch Helligkeitsdifferenz, nach Schließen für 60 Sekunden beim Oeffnen wieder für einige Sekunden deutliche Differenz, die aber rasch abnimmt. **3000:** undeutliche Differenz (erster Beobachter). Helligkeitsdifferenz vorhanden (zweiter Beobachter).

Bemerkung: Durch das Rohr alles viel deutlicher. Gelb wird erst deutlich, wenn beide Augen offen sind und eines durch das Rohr blickt. Das Gelb ist nur Kontrast, denn wenn nur das Rohr vor das nicht geblendete Auge gesetzt wird (wobei das geblendete Auge geschlossen ist!), so erscheint das Tuch weiß; wird auch das geblendete Auge geöffnet, erscheint das Weiß gelblich. Das Gelbstadium war nur bei sehr reduzierter Beleuchtung (Helligkeit C) am geblendeten Auge deutlich.

Versuch 71: Versuchsbedingungen: Distelberg, Sonne scheint durch feines Gewölk, Fixationsfläche aus weißem Linnen und weißem Papier, Fixationszeit 900 Sekunden. Beide Beobachter linkes Auge geblendet. Beobachtung während der Fixation: Nach einigen Minuten die typischen gelben und lilafarbenen Skotome 286 und 536 des c. d. c. Das Weiß der Leintücher ist mehr bläulich, das des Papiers mehr gelblich. Während der Skotome werden die Falten und Unregelmäßigkeiten der weißen Fläche nicht mehr erkannt. Der eine Beobachter sieht hier und da ein hellhimmelblaues Skotom. Beobachtung im reagierenden Licht: Während des Zurückwanderns von der im Feld gelegenen Fixationsfläche in den Korridor tritt deutliche Erythropsie auf, die im Freien etwa 60 Sekunden anhält. Helligkeit B: sofort deutliche Erythropsie (zweiter Beobachter), mit Rohr orange 86 c. d. c. (erster Beobachter). **60:** Hochpurpur 591 c. d. c., das andauert bis ca. 300 (beide Beobachter). **360:** beide Beobachter: Rohr links: gelb mit rötlichem Ton, Rohr rechts: Zentrum weißgelblich, Peripherie graulila, ca. 547 c. d. c., eher noch blasser. **480** bis **600:** Rohr links: gelblichrötlich 28 A c. d. c., nach Schließen des Auges für einen Moment etwas mehr purpurn ca. 578 A bis 578 B c. d. c. Helligkeit C: **780:** Rohr links: Zentrum gelbrötlich ca. 53 C, Peripherie ca. 478 D c. d. c., Rohr rechts: Mitte bläulichlila 478 C, Peripherie schmutzig gelbgrün ca. 272 c. d. c. Helligkeit B: **1080:** erster Beobachter: Rohr links: blaßrosa ca. 578 B c. d. c. Zweiter Beobachter: in der Mitte des Rosa etwas gelblicher Schimmer. Peripherie grünlichgelb. **1200:** Rohr rechts: Mitte gelbgrün 278 B, Peripherie schmutzig lila ca. 503 B c. d. c. **1380** bis **1620:** wird das Rohr rasch bald vor das rechte, bald vor das linke Auge gehalten, wobei immer beide Augen offen sind, erscheint rechts blaßlila 503 A, links blaß gelbgrün 303 B c. d. c. Wird zu gleicher Zeit vor jedes Auge ein Rohr gehalten, so ist der Kontrast noch deutlicher. Helligkeit C: **1680:** beide Augen mit Rohr: links gelbgrün, rechts lila, aber sehr geringe Differenz. Dieser Zustand dauert ca. 30 Sekunden, dann nach Adaptation wieder links lila, rechts gelbgrün. Diese Erscheinung wird von beiden Beobachtern wahrgenommen. Die Differenzen sind aber nur geringe, werden jedoch nach zwei bis drei Minuten eher deutlicher, besonders beim ersten Beobachter. Helligkeit B: **1860:** Differenz wieder deutlicher, Rohr rechts: Spur blaßlila bis blaßrosa mit zentralem Ton nach Gelb. Rohr links: gelblichgrün. Durch Schließen für einige Sekunden etwas auffrischbar. **2100:** wieder etwas deutlicher, etwas blasser als 528 A c. d. c., ohne Rohr sind die Differenzen nicht mehr so deutlich. Im Zentrum des Lila sieht man auch den gelblichen Schein. Er nimmt zweifellos einen bedeutend größeren Bezirk ein als durch das Rohr. **2400:** dasselbe. Helligkeit C: **2410:** sofort links gelbgrün, rechts lila. Nach ca. ½ Minute wieder umgekehrt. **2820:** nur noch Spuren von Differenz. Helligkeit B: **2860:** Differenz nicht mehr so deutlich, wie vorher. Rohr links: blaßlila, fast weiß, Rohr rechts: blaßgrünlich-gelb. Die Farben sind nach dem c. d. c. nicht mehr feststellbar. **3060:** keine deutliche Differenz mehr. Helligkeit C: **3300:** geringe, schwer definierbare Differenz.

Versuch 69: Versuchsbedingungen: Distelberg, weiße Papierfläche. Nachdem beide Augen beider Versuchspersonen von 10 Uhr 35 bis 11 Uhr 5 der Sonne auf der Straße Aarau—Distelberg ausgesetzt worden sind, ver-

binden beide je das rechte Auge. 11 Uhr 15 ist die Papierfläche hergerichtet. Himmel fast klar blau. Fixation von 11 Uhr 15 bis 11 Uhr 50 mit dem linken Auge. Das rechte Auge war somit 45 Minuten verschlossen. Keine Mydriasis. Fixationszeit 1800 Sekunden. Beobachtung während der Fixation: Während der ersten fünf Minuten der Fixation deutliche, leichte Erythropsie, wenn der Blick von der Papierfläche auf die Umgebung geworfen wird, später im Freien keine Erythropsie mehr. In den ersten Minuten ausgesprochenes Schlangenkonvolut auf der weißen Papierfläche und im Freien. Es erscheinen im zentralen Gebiet während der ganzen Fixationszeit beobachtbare, durch Aufheben der Akkommodation (Hinstarren!) sehr leicht erzeugbare, einige Sekunden dauernde Skotome von lila Farbe, die in Schwefelgelb übergeht. Sie nehmen schätzungsweise 10 bis 20 Grad ein. Wie durch eine Wolke pflegt das lila Bild von einem rasch verschwindenden Gelb verdrängt zu werden. Zuweilen hat das Skotom eine mehr orangene Farbe (erster Beobachter). Die Schlangenlinien bewegen sich von der Peripherie nach dem Zentrum. Wie das lila Skotom, so sind auch die Schlangenlinien während des ganzen Versuches erzeugbar, sie kommen und verschwinden in wellenförmigem Rhythmus. Die Helligkeit der Papierfläche nimmt während der Fixation scheinbar stark ab. Wird der Verband auf dem rechten Auge nur eine Spur gelüftet, so wird es sehr deutlich, daß die Helligkeitsabnahme nur scheinbar ist. Nach der 20. bis 25. Minute Fixierzeit nehmen die Schlangenlinien nur noch etwa 5° ein. Gegenstände, wie z. B. die Hand, erscheinen, wenn sie an die Peripherie des Gesichtsfeldes gerückt werden, gelblich, besonders deutlich beim zweiten Beobachter. Beobachtungen im reagierenden Licht: Die Rückwanderung von der Fixationsfläche in den Korridor erfordert zwei Minuten. Im ersten Moment hat der Ackerboden einen Stich ins Rötliche. Helligkeit B: Sofort nach Eintritt düster rot (erster Beobachter) düster bläulich (zweiter Beobachter). **60** bis **90**: purpurrot (beide Beobachter). **100**: blasser rot, Mitte gelb, außen rot. Gelb wird dann wieder tief violett, (dies verschwindet wieder, und alles ist rot, dann tritt wieder ein lila Fleck auf, der wieder gelb wird (zweiter Beobachter). Bisweilen zentraler, gelber Fleck (erster Beobachter). Beim Starren sehen oft beide Beobachter ein lila Skotom. Durch Schließen des Auges für ein paar Sekunden wieder starkes Auffrischen des Skotoms. Beide Beobachter sehen oft zentralen gelben Fleck von ca. 5°, dann wieder lila. Mit Rohr links, beide Augen offen: links schönster Purpur, rechts gelblich, Rohr rechts: rechts zitronengelb, links lila bis purpur. **420**: mit Rohr ist der kolossale Kontrast wunderbar zu sehen. **540**: Differenz eine Spur geringer, aber mit Rohr doch sehr hochgradig, nach Schließen des Auges für 60 Sekunden Differenz wieder größer. Wird das Rohr vor das rechte, nicht geblendete Auge gehalten, so ist die Farbe stets mehr lila (in der Peripherie), während sie mehr purpurn (im Zentrum) ist, sofern das Rohr vor dem linken, geblendeten Auge sich befindet. **660**: Differenz wieder etwas stärker, mit linkem Auge immer noch im Zentrum gelber Fleck wahrnehmbar, der nach einigen Sekunden jeweilen wieder verschwindet. Besonders deutlich ist der gelbe Fleck dann durch das Rohr sichtbar, wenn das Auge vorher für ein paar Sekunden geschlossen war; er bleibt aber nur 3—5 Sekunden lang und verschwindet dann regelmäßig: das Rohrfeld ist wieder schön purpurn. **690—900**: dasselbe. **900**: beide Augen werden für eine Minute geschlossen, und es wird schon während des Schließens das Rohr an das linke Auge gehalten. Nach einer Minute werden beide Augen geöffnet: starker Purpurschein mit zentralem, gelbem Fleck, der beim zweiten Beobachter nach 5, beim ersten Beobachter nach 4 Sekunden verschwindet. Der gelbe Fleck hat einen Durchmesser von ca. der Hälfte des roten Kreises und liegt nicht immer zentral, sondern beim ersten Beobachter stets nasal, und hat nicht immer dieselbe Größe. Bewegt der erste Beobachter das Rohr nach oben, so rutscht der Fleck scheinbar hinterher, und umgekehrt. Er bleibt mehr zurück, verschiebt sich weniger als die rote Peripherie, man kann ihn durch rasche Bewegungen im umgekehrten Sinne herumjagen (Vertiefung der Macula?). Wird das Rohr zwar vor das linke Auge gesetzt, jedoch mit beiden Augen ganz peripher geblickt, so sieht das linke Auge in diesen peripheren

Teilen des Gesichtsfeldes nicht mehr Rot, dagegen um so mehr Rot, je näher dem Zentrum des Gesichtsfeldes. **1740 :** dasselbe etwas blasser. Das Zentralgelb kann auch leicht erzeugt werden ohne vorheriges Schließen des Auges, indem man einfach eine Zeitlang zuerst stark seitlich und dann wieder in der Rohrrichtung blickt. **1860 :** ohne Rohr etwas weniger scharfe, aber immer noch deutliche Differenz, die durch Schließen für einige Sekunden wieder deutlicher wird. Mit Rohr noch sehr deutlich. **1920 :** Abnahme des Kontrastes. **2100 :** mit Rohr links noch schön rosa, rechts gelb. Helligkeit C: **2200 :** links gelb-gelbgrün, recths blau-lila, besonders dunklere Stellen.

Versuch 70 : Versuchsbedingungen: Distelberg, Fixationsfläche von weißem Linnen und weißem Papier, Himmel fein diffus bewölkt, fast hell. Beide Beobachter fixieren mit dem linken Auge. Keine Mydriasis. Fixationszeit 1800 Sekunden. Beobachtungen während der Fixation: schon beim Entspannen der weißen Tücher und des Papiers haben beide Beobachter sofort grüngelbes Skotom, das einer düsterpurpurnen Wolke Platz macht, die wieder verschwindet. Dies wiederholt sich von Zeit zu Zeit. Das Skotom beginnt immer zentral und breitet sich peripher aus, aber nicht über das ganze Gesichtsfeld. Nach 120 Sekunden ist das Skotom gelb im Zentrum, lila in der Peripherie. Diese beiden Farben lösen einander ab. Lila entspricht 516 und 517, bisweilen düsterer, wie 513 c. d. c. Gelb entspricht ca. 261 c. d. c. Das lila Skotom erstreckt sich auf ca. 20 bis 30°. Die schon erwähnten Schlangenlinien werden beobachtet. Beobachtung im reagierenden Licht: Helligkeit C: **30 :** hellere Teile rötlich. **60 :** alles dunkelpurpurn, mit Rohr gelbrot bis gelb. Obere hellere Partien des Tuches mehr rot. Rohr rechts: lila. **240 :** Rohr links: gelbrot bis hochrot (erster Beobachter). Rohr links: rosa (zweiter Beobachter). **250 :** Rohr rechts: blaß lila. **300 :** Rohr links: rosa, Peripherie gelblich (zweiter Beobachter). Rohr links: gelbrot (erster Beobachter). **360 :** Rohr links: gelblichrot, Rohr rechts: lila (beide Beobachter). **420:** Rohr links: schwach rosa, Peripherie gelblich. Rohr rechts: lila (zweiter Beobachter). Rohr links: gelbrot (erster Beobachter). Rohr rechts: lila (erster Beobachter). **540 :** Rohr links: gelbrot-purpurn, Rohr rechts: lila (beide Beobachter). **720:** dasselbe. **780** bis **1020:** Rohr links: Ton mehr gelb als gelbrot. Rohr rechts: hell-lila. Rohr links: ein davorgehaltenes weißes Papier erscheint schön rosarot, leuchtender und heller als 546 c. d. c. Das Gelb auf der unteren Tuchfläche und besonders auf dunklerem Boden etwa wie 278 D c. d. c. **1200 :** Boden mit Rohr links gelbgrün, mit Rohr rechts bläulich-lila. Tuch mit Rohr links lila-rosa, mit Rohr rechts gelbgrün, besonders hellere Stellen, etwa wie 286 oder 291, dunklere Stellen mehr wie 292 c. d. c. **1440 :** Rohr rechts: Boden blau-lila, helle Stellen gelblich, wie 278 A c. d. c., auf Tuch noch Spur lila, Peripherie auf Tuch gelblich. Rohr links: Boden immer noch wie 281 grün, helle Tür rosa, Tuch dunklere Stellen mehr gelblich, hellere rosa, Peripherie immer komplementär. Rohr rechts: Boden lila, hellste Stellen oben gelb. **1800 :** das gelbe Zentrum konnte man während des ganzen Versuches sehen, wenn man weißes Papier vor das Rohr hielt (wie in Versuch 69), es verschwindet nach einigen Sekunden. **1920 :** dasselbe. Rechtes und linkes Auge verhalten sich gerade umgekehrt: nur sind die Farben mit dem geblendeten Auge satter. **2100—2400 :** Rohr rechts: Boden lila 511, aber heller leuchtend, Tuch blaß gelbgrün, ca. 0321, hellste Stellen etwa 296 c. d. c. Rohr links: Boden grün 276—281, Tuch 478 B, hellste Stellen 0546—528 B c. d. c., weißes Papier lila 0546 oder 528 B, das Gelb darin wie 0296 c. d. c. Rohr rechts: weißes Papier wie 0296, homogen. **2580 :** Differenz blaßt etwas ab. Das Auge wird für eine Minute geschlossen: eine Aenderung tritt nicht ein (während bei hellem Licht immer eine starke Auffrischung eintrat). **3300 :** dasselbe etwas blasser. **3600 :** dasselbe. **3900 :** dasselbe blasser. **4200 :** auf Tuch nur noch Spur Differenz. Rohr links: etwas gelblich, Rohr rechts: nicht mehr deutlich lila. Peripherie in beiden Fällen gelb, Papier vor das Rohr links gehalten immer noch deutlich rosa. Nach Augenschluß für eine Minute dasselbe. **4500 :** links hier und da etwas lila. Papier noch blaß rosa, am Boden keine deutlichen Differenzen mehr.

Blendungsversuche mit künstlichem Licht.

Versuchsbedingungen: Zu der größeren Zahl dieser Versuche wurde ein würfelförmiger Nickelblechkasten von 25 cm Breite, in welchem sich eine 50-K.-Lampe (Osram) befand, und dessen eine Seite aus einer Milchglasscheibe bestand, verwendet. Licht konnte aus diesem Würfel nur durch die Milchglasscheibe nach außen gelangen. Die Beobachtung fand teils in vollständig dunklem Raume, teils in reagierendem Lichte statt. Für die Beobachtung bei reagierendem Licht wurde der hell tapezierte Raum von 3 m Seite im Quadrat von 3 elektrischen 10-K.-Lampen erhellt und der Blick auf ein weißes Tuch an der Wand des Zimmers gerichtet. Durch eine Blende aus schwarzem Karton mit kreisrunder Oeffnung von 11 cm Durchmesser konnte die leuchtende Fläche des Nickelblechkastens verkleinert werden. Ueber die Bestimmung der Helligkeit mit Hilfe des Photometers s. oben S. 26. Sie betrug nach den obigen Angaben gemessen 445 S. E. Die Distanz des Auges von der leuchtenden Fläche betrug 25—30 cm. Die Farbe der Milchglasscheibe ist bei brennender Lampe bei mittlerem Tageslicht gelb mit Stich ins Orange, im sonst dunklen Raum bei brennender Lampe ca. 196 c. d. c., die Komplementärfarbe auftretend nach momentanem Fixieren mit sofortigem Verdecken der Lider ist leuchtend blau ca. 441 c. d. c.

Bemerkungen: Die Schwankungen des Stromes bedingten einen häufigen leichten Wechsel der Lichtstärke der benutzten Lampe. Doch schien derselbe auf Verlauf und Dauer der N. ohne Bedeutung zu sein. Die Fixation der unverhüllten Osramlampe bot *deshalb* kein großes Interesse, weil die Lichtstärken des Fadens der Glashülle, der umgebenden Gegenstände so außerordentlich differieren, daß stets zu derselben Zeit die verschiedensten Phasen des Blendungsnachbildes vorhanden sind, wodurch die genaue Beobachtung außerordentlich erschwert wird. Dieses störende Moment ist bei der Verwendung der Milchglasfläche auf ein Minimum reduziert. Allerdings kann man beobachten, daß die Nachbilder des glühenden Fadens viel leuchtender sind und besonders ähnlich dem Tageslicht leuchtende rote und grüne Phasen erkennen lassen, was von der Milchglasfläche mit der viel geringeren Flächenhelligkeit nicht gesagt werden kann. Die Dauer dieser Nachbilder bei reagierendem Licht ist geringer, als bei geschlossenem Auge. Sofort nach der Fixation ist bei reagierendem Licht ein braungelbes (Mittelton zwischen 142 und 182 c. d. c.), scharf umschriebenes Nachbild vorhanden, dessen Farbe im Verlauf der nächsten zwei Minuten abblaßt und allmählich in mehr Strohgelb übergeht. Dieses Nachbild ist durch momentanes Schließen des Auges wieder auffrischbar, dauert aber ca. 1 Minute weniger lang, als das N. bei geschlossenem Auge. Die Helligkeit des reagierenden Lichts ist für die Farbe des N. ohne große Bedeutung, bei vermindertem Lichte wird es dunkler, so bei geschlossenem, aber nicht bedecktem Auge. Alle diese Nachbilder erscheinen nur dann deutlich, wenn beim Fixieren nicht beliebige Teile der leuchtenden Fläche, sondern ein bestimmter Punkt, womöglich im Zentrum derselben, ins Auge gefaßt wird. Ist das Nachbild, das bei der Dunkelheit auftritt, verschwunden, so tritt dasselbe bis zu einer gewissen Zeit regelmäßig wieder auf, wenn das Auge belichtet wird, d. h. die Empfindungsdifferenz zwischen den belichteten und nicht belichteten Netzhautpartien kommt mit der Belichtung wieder zum Ausdruck. Die Belichtung muß hierzu gering sein, um so geringer, je weniger intensiv das Nachbild ist. Ist die Intensität zu stark, so wird das N. übertönt und gar nicht oder undeutlich wahrgenommen. Steht nur intensiveres reagierendes Licht zur Verfügung, so genügt es, diese Auffrischung des Nachbildes bei geschlossenem Auge durch leichtes Heben der bedeckenden Hand (oder Klappe) hervorzurufen. Es gelangt dabei durch die geschlossenen Lider genügend Licht zur Netzhaut, um den Kontrast zwischen den durch die Belichtung ermüdeten und nicht ermüdeten Partieen hervorzurufen.

Versuch 6: Fixationszeit 30 Sekunden. Beobachtung im Dunkeln: **7:** rosarot 566 c. d. c. **15:** dasselbe. **18:** violett-rot 541 c. d. c. **25:** lila 511 bis 516 c. d. c. **37:** Peripherie unscharf, Mitte lila. 48: graublau-rötlich

491 c. d. c. **75:** gelb-gelbgrün 303 D — 286 c. d. c. **83:** gelb-gelbgrün mit ziemlich scharfem Rand. **100:** in der Mitte tief-violetter Schimmer, aber undeutlich. **130:** gelblichgrünlich. **200:** immer noch graugelblicher Schimmer. **240:** verschwunden. **285:** nach leichter Belichtung schwarzbraungelb. **480:** komplett erloschen.

Bemerkung: In dem Moment der Bedeckung des belichteten Auges erscheint ein sofort wieder verschwindendes hochrotes N. von ungleichmäßiger Farbenintensität, am intensivsten rot ist die Peripherie desselben, dann folgt für einige Zeit Dunkelheit, und erst nach einigen Sekunden folgen die beschriebenen Nachbilder. Während aller Blendungsversuche mit künstlichem Licht traten schon wenige Sekunden nach Beginn der Fixation die leuchtende Fläche teils ganz, teils partiell verdeckende, dunkelgrüne Skotome auf. Diese zeigten regelmäßig verteilte hellere, mehr oder weniger kreisförmige Linien, die bisweilen ruhig schienen, um dann wieder in schlangenähnliche Bewegung überzugehen. Die Farbe des Grün schwankte zwischen dunkelgelbgrün 303 und dunkelblaugrün 351—357 c. d. c.

Versuch 78: Versuchsbedingungen wie bei Versuch 6. Untersuchung des N. der Blendeöffnung bei reagierendem Licht, 3 Lampen à 10 K., während der Fixation brennen diese Lampen nicht. Fixationszeit 30 Sekunden in 20 cm Distanz. Wenige Sekunden nach Beginn der Fixation dunkelgrünes Skotom zwischen 351 und 357 c. d. c. mit hellgrünen Schlangenlinien. Im Moment des Auslöschens des primären Lichts erscheint die Scheibe selber momentan wie 16 c. d. c. **6:** bei geschlossenem Auge lila 511 c. d. c. **8:** bei offenem Auge gelbbräunliches N., das nach 3—4 Sekunden verschwindet, ca. 142—182 c. d. c. **25:** beim Oeffnen wieder gelbbräunlich etwa wie 202 c. d. c., eher noch gelber. **40:** b. o. A. Farbe etwas blasser, nach einigen Sekunden verschwindend. **70:** durch Schließen wieder auffrischbar. **90:** b. g. A. bläulichgrau. **120:** b. o. A. undeutlich bräunlichgelb. **135:** b. g. A. undeutlich. **150:** nichts mehr deutlich.

Fixation der 20 mm hohen Benzinflamme des Photometers.

Versuchsbedingungen: Auf Distanz von 15 cm wird die 20 mm hohe Benzinflamme des Photometers durch Marienglas fixiert und das N auf weißer Fläche (Helligkeit D) und schwarzer Fläche (Helligkeit F) beobachtet.

Versuch 35: Fixationszeit 40 Sekunden. Helligkeit D: **60:** leuchtend purpurrot. **70:** leuchtend purpurrot mit blauem Rand. **90:** Kern rot. Helligkeit F: **125:** tief blaugrün mit winzigem rotem Kern. Beim Schließen des Auges zentraler blauer Kern mit gelbem Rand. Helligkeit D: **180:** blaugrün mit bräunlichgelbem Rand. Helligkeit F: **200:** undeutlich tiefblau, beim Schließen des Auges weißlich, rasch verschwindend. Helligkeit D: **215:** beim Oeffnen des Auges sehr deutlich schwarzbräunlich. Helligkeit F: **210:** beim Oeffnen undeutlich. **260:** beim Schließen weißlicher Schein, rasch verschwindend. **270:** beim Oeffnen nichts. Helligkeit D: **275:** beim Oeffnen bräunlichschwarzes N., das sich langsamer abschwächt, als das N. bei geschlossenem Auge. **330:** immer noch deutlich auffrischbar. **370:** dasselbe. Helligkeit F: **370:** nichts erkennbar. Helligkeit D: **420:** deutlich auffrischbar, schwächer, beim Schließen undeutlich.

Versuch 36: Versuchsbedingungen wie bei Versuch 35. Fixationszeit 10 Sekunden. Helligkeit D: **12:** purpurrot. Helligkeit F: **20:** purpurrot, Rand violett. Helligkeit D: **35:** purpurrot, Rand bläulich. **60:** purpurrot, Mitte gelblich, Peripherie blau, Gelb verschwindet wieder, um totalem Rot Platz zu machen. **90:** rot kleiner. Rand grün-bläulich. Helligkeit F: **130:** bläulich, Mitte dunkler, nichts Rotes. Helligkeit D: **140:** hier und da zentral noch rot, Rand gelblich, Mitte dunkelbraungelb. **190:** Mitte noch grünlich, Peripherie bräunlich. **225:** beim Schließen weißlich. **260:** dunkler Fleck, deutlich auffrischbar. **320:** beim Schließen hell. **360:** dunkler Fleck, deutlich auffrischbar.

Gar nicht erwähnt sind die Versuche 5, 7, 8, 37, 40, 44, 47, 50, 57, 61, 76, 77, da ihre Resultate mit denen anderer Resultate sich decken.

Epikrise.

Inhalt.

1. Einfluß der Intensität und Dauer des primären Lichts.
2. Einfluß des reagierenden Lichts (Beleuchtung A, B, C, D, E).
3. Individuelle Differenzen der Beobachter und Wert des Kontrollauges.
4. Einfluß der Mydriasis.
5. Beobachtungen von Nachbildern während der Fixationszeit.
6. Vergleichung der Beobachtungen bei Benutzung von künstlichem Licht, Wolkenlicht, von Schneelicht und von Licht, das von einer weißen Papier- oder Leinwandfläche reflektiert wird, als primäre Lichtquelle.
7. Beobachtungen im reagierenden Licht mit und ohne Abblendungsrohr.
8. Auffrischung der Nachbilder.
9. Blenduug mit Licht, das durch gelbe Gläser und Schwerflint 0,198 filtriert ist. Blendungsversuche mit ultravioletten Strahlen.
10. Beobachtung des Nachbildes im reagierenden Licht, das durch Erioviridinlösung filtriert wurde.
11. Rotphase des Nachbildes und die übrigen Phasen.
12. Ist die Erythropsie identisch mit der Rotphase des Nachbildes?
13. Die Bedeutung unserer Versuche für die bisherigen Theorien.
14. Die Bedeutung der Blendungsversuche für die Farbenwahrnehmung.

Im Gegensatze zu den bisherigen experimentellen Untersuchungen über Erythropsie sind unsere Versuche zum erstenmal an *Flächen verschiedener Helligkeit, deren Intensität photometrisch bestimmt wurde*, angestellt worden. Ebenso gelangte die einmal erzeugte Erythropsie gleich wie die ihr analogen andersgefärbten Blendungsnachbildphasen bei photometrisch bestimmter Helligkeit zur Beobachtung. Wie die sämtlichen Versuche ergeben, sind die *Helligkeit* des primären, d. h. des zur Erzeugung der Blendung dienenden Lichtes, sowie die *Dauer* dieser Blendung von entscheidendem Einfluß auf die Art und Dauer der Blendungsnachbildphasen. Von noch weit grösserer Bedeutung für diese Art und Dauer ist, wie aus allen Versuchen hervorgeht, die *Intensität des reagierenden Lichtes*. Ebensowenig wie photometrische Messungen der Intensität des primären und reagierenden Lichtes sind von den bisherigen Autoren Farbenbestimmungen an Hand von Farbenskalen benutzt worden. Die von *Schulek* zu andern Zwecken benutzte *Radde*sche Skala war im Buchhandel nicht mehr erhältlich, so daß wir die (oben erwähnte) Farbenskala von *Klincksieck* und *Valette* benutzten. Trotz der erheblichen Zahl der einzelnen Farbennuancen (das Buch enthält 720 échantillons de couleur)

zeigte es sich, daß das Blendungsnachbild eine ausserordentliche Zahl von Farbenvarianten aufweist, welche mit den Farben der Skala nicht ganz genau definiert werden können. In zweifelhaften Fällen haben wir zwei Farbennuancen angegeben, welche der beobachteten Farbe möglichst nahe kommen.

In dem Folgenden sollen diese und anderweitige Momente besprochen werden, welche die Qualität des Blendungsnachbildes beeinflussen und die Beziehung des letztern zur Erythropsie und Farbenwahrnehmung darlegen.

1. *Einfluß der Intensität und Dauer des primären Lichtes auf die Nachbildphasen.*

Man vergleiche z. B. Versuch 49 mit 51. Bei Versuch 49 dauert die Fixation der Schneefläche 840 Sekunden; bei Beleuchtung B hält der rötliche Ton bis 230 Sekunden an, geht in gelb über, das bis nahezu 400 Sekunden anhält. Nach Fixationsdauer von nur 30 Sekunden (Versuch 51) dauert die Rotphase nur 80—100 Sekunden, die Gelbphase bis höchstens 240 Sekunden. Auch die Qualität des Rot war, wie sich aus den Versuchen ergibt, in beiden Fällen verschieden.

2. *Der Einfluß des reagierenden Lichts.*

Von sehr großer Bedeutung ist die Intensität des reagierenden Lichts. Bei Helligkeit A pflegte z. B. das Rotstadium auch nach sehr langer Fixation nur etwa eine halbe Minute zu dauern, weitere Phasen waren nur schwer oder überhaupt nicht nachweisbar, während die letzteren bei Helligkeit B und C nach genügend langer Fixation eine Stunde und länger beobachtet werden konnten. Während z. B. Fuchs Erythropsie stets nur während 1 bis 2 Minuten beobachten konnte, gelang es uns bei herabgesetzter Beleuchtung dieselbe eine Viertelstunde und länger wahrzunehmen. (Vergleiche Versuche Seite 69 u. 70.)

Dies erklärt vielleicht auch, warum die Erythropsie bei Schneewanderungen im Gebirge verhältnismäßig selten zur Beobachtung gelangt. Außerdem kommt hierbei auch die Gewöhnung an das Licht in Betracht. Das bei Helligkeit A, also bei verhältnismäßig intensivem reagierendem Licht, die Nachbildphasen nicht oder nur in geringem Maße zur Geltung kommen, ist eine Erscheinung, die für die Nachbilder überhaupt charakteristisch ist. Sie dürfte darauf zurückzuführen sein, daß intensives Licht die verhältnismäßig schwachen Farbenempfindungen der Netzhaut während des Nachbildes übertönt, ähnlich wie in der Photographie grelle Belichtung die Details verwischt (*Vogt* 69).

3. *Individuelle Differenzen der Beobachter und Wert des Kontrollauges.*

Schon *Helmholtz* (l. c.) hebt hervor, daß bei der Beobachtung von Nachbildern durch verschiedene Personen keine bedeutenden

Differenzen in Intensität, Farbe und Reihenfolge der Nachbilder vorkommen, sofern die Versuchsbedingungen dieselben sind. Auch wir konnten das bestätigen. War die fixierte Fläche dieselbe, die Pupille bei beiden Beobachtern gleich weit, so traten im reagierenden Licht bei beiden Beobachtern stets gleich gefärbte, gleich lang dauernde und gleich intensive Nachbildphasen auf. Einzig beim Übergang von der einen Phase zur andern pflegten bisweilen geringe Differenzen aufzutreten, indem bei dem einen die eine Phase einzelne Sekunden früher eintrat, als bei dem andern. Auch kam es hie und da vor, daß bei der Definition der Farbe nach *Klincksieck* und *Valette* sich bei den beiden Beobachtern minimale Differenzen ergaben.

Die Bedeutung des *Kontrollauges* erwies sich in diesen Versuchen als sehr wichtig. *Es scheint uns zweifellos, daß in den Fuchsschen Versuchen deshalb so wenig andere Phasen außer dem Rotstadium hervortraten, weil nicht konsequent das eine Auge als Kontrollauge benutzt wurde.* Wie *Brücke* (in seinen Vorlesungen über Physiologie 1874) betont, wird das dominierende Licht nach längerer Einwirkung auf das Auge, mag seine Farbe sein wie sie will, schließlich immer als weiß empfunden. Hiervon kann sich jeder leicht überzeugen, wenn er längere Zeit durch ein gefärbtes Glas blickt und hierbei das seitlich einfallende, ungefärbte Licht abblendet. Er wird nach einigen Minuten die Farbe des Glases immer schwächer wahrnehmen, schließlich überhaupt nicht mehr. Es beruht hierauf das Blausehen der Star-Operierten. Durch die gelborangefarbene Linse des an Katarakta senilis Leidenden gelangt während Jahren statt des weißen Tageslichtes ein gelbgefärbtes, somit von blauen und violetten Strahlen zu einem großen Teil filtriertes Licht zur Netzhaut. Da die Gelbfärbung allmählig eingetreten ist, hält der Patient dieses von blau und violett teilweise befreite Licht für weiß.

Tritt nun nach der Star-Extraktion gewöhnliches Tageslicht zur Netzhaut, so muß dieses letztere dem Patienten blau oder blaugrün erscheinen, da es mehr blaue und blaugrüne Strahlen enthält, als das Licht, das der Patient bisher für weiß gehalten hatte.

Bei Erzeugung des Blendungsnachbildes mit und ohne Kontrollauge läßt sich leicht nachweisen, daß ohne Kontrollauge eine große Zahl feiner Farbennuancen absolut nicht wahrnehmbar ist (siehe *Vogt*, Arch. f. Ophthalmologie, Ursachen und Wesen der Blendungserythropsie, 1908, Vortrag der Heidelb. ophth. Gesellschaft). Man überzeuge sich davon durch einen einfachen Versuch: Man verschließe, bevor man in einen sonnenerhellten Raum eintritt, mit der Hand oder besser mit einem schwarzen Tuche ein Auge und halte sich einige Zeit in diesem Raume auf, wobei zweckmäßig sonnenbeschienene Stellen fixiert werden. Entfernt man nun nach einer oder mehreren Minuten die Bedeckung von dem Kontrollauge, so ist die Farbenwahrnehmung in dem verdeckten und nicht verdeckten Auge eine total verschiedene. Jeder Beobachter wird erstaunt sein über die außerordentlichen Farbendifferenzen, die er

hierbei wahrnimmt. Das graubraune Dach eines Hauses erscheint ihm mit dem der Belichtung ausgesetzten Auge hellgelbrot, die Rinde eines Baumes, der Boden u. s. w. haben eine ganz andere Farbe angenommen. Über die Bedeutung der Veränderung unserer Farbenperzeption siehe unten (unter 13).

4. *Der Einfluß der Mydriasis*

hat ähnliche Bedeutung, wie die Verlängerung der Fixationsdauer oder die Erhöhung der Intensität des primären Lichts. Es traten, wenn das zum Fixieren benutzte Auge atropinisiert war, im Vergleich zu einem Auge, das unter sonst gleichen Bedingungen fixierte, länger dauernde Nachbildphasen auf, die sich zu denen des nicht atropinisierten Auges ähnlich verhielten, wie die Nachbildphasen nach langer Fixation, zu denen nach kurzer Fixationsdauer. Bei der Beobachtung im reagierenden Lichte zeigte es sich ferner, daß zu gleichen Zeiten die fixierte Fläche (weißes Tuch) mit dem atropinisierten Auge stets heller gesehen wurde (entsprechend der grösseren Lichtmenge, die zur Netzhaut gelangt), als mit dem normalen Auge. Zur Erzeugung von Erythropsie ist, wie die Versuche Vogts und unsere Versuche zeigten, *die Pupillenerweiterung nicht nötig.* (Alle früheren Beobachter, auch *Fuchs*, hatten zur Erzeugung von Erythropsie in der Ebene stets die Pupille erweitert.)

5. *Nachbildbeobachtungen während der Fixationszeit.*

Nach der Theorie der Nachbilder muß dem ersten Momente des Fixierens der blendenden Fläche ein Nachbild folgen, und ebenso den nachfolgenden Momenten, so daß eine Summation der Nachbilder während des Fixierens auftreten muß. Daß diese Nachbilder beständig vorhanden sind, erkennt man leicht daran, daß zu einer *beliebigen* Zeit während der Fixation durch Herabsetzen der Belichtung des Auges (Wenden des Blickes nach einem dunklen Gegenstand, Eintreten in einen dunklen Raum etc.) die typischen Blendungsnachbilder im sog. reagierenden Licht hervorgerufen werden können. Daß die Blendungsnachbilder auf der fixierten grellen Fläche nicht oder nur schwer zur Beobachtung gelangen, beruht auf der großen Lichtintensität der letztern (siehe oben).

Immerhin gelang es uns, insbesondere nach einiger Uebung, mit ziemlicher Leichtigkeit Blendungsnachbilder während des Fixierens selber zu beobachten. Schon Fuchs erwähnt, daß beim Wandern über sonnenbeschienene Schneefelder hin und wieder eine Rosa-Färbung aufzutreten pflege, die dann einer Zartgrün-Färbung Platz mache. Weiteres wird von Fuchs nicht angegeben.

Unsere Beobachtungen sind in den Versuchen No. 37—75 niedergelegt.

Im Beginn des Fixierens, etwa 1. oder 2. Minute, pflegen sich rosa und dunkelmeergrüne Nachbilder in den mittleren Partieen des Gesichtsfeldes (d. h. in den stärkstbelichteten Stellen) einzustellen.

Die Farbe des Grün schwankt etwa zwischen No. 351 und No. 357 des C. de C.

In den späteren Minuten der Fixation sind es orange bis schwefelgelb und lila, etwa No. 82 und 107, 136 und 141, 561 und 532, welche wiederum mehr die mittleren Partien des Gesichtsfeldes einzunehmen pflegen.

Das Auftreten solcher Nachbilder kann in hohem Maße begünstigt werden durch Erschlaffenlassen der Akkommodation. Die Nachbilder pflegen sich so abzulösen, daß das eine das andere entweder von der Peripherie her nach dem Zentrum hin oder umgekehrt verdrängt, und zwar kann sowohl das rosa resp. gelb gefärbte Nachbild das Zentrum einnehmen und sich von da über grün resp. lila ausbreiten, als auch umgekehrt.

Die Nachbilder pflegen höchstens einige Sekunden anzuhalten, um dann wieder für einige Zeit der weißen Fläche Platz zu machen. Ihr Auf- und Abklingen geschieht wellenförmig. Charakteristisch ist, daß im Bereiche des Nachbildes immer ein relatives Skotom besteht (feinere Details der fixierten Fläche werden nicht unterschieden).

Bisweilen tritt, meist ohne daß ein Skotom vorhanden ist, im Zentrum des Gesichtsfeldes ein nur wenige Grade einnehmendes, eigentümliches Gewimmel von Schlangenlinien auf, die sich in einer kreisförmig begrenzten, nur wenige Grade einnehmenden Fläche bewegen, aus unscharf begrenzten, dunkelgrauen bis weißen Streifen bestehen, deren Bewegung im ganzen nach dem Zentrum hin tendiert. Die Streifen mögen vielleicht eine Breite haben von $^1/_{20}$ des Durchmessers der ganzen Figur; doch ist es äußerst schwierig, die Breite genau abzuschätzen, weil die Streifen sich sehr rasch durcheinander bewegen. Von beiden Beobachtern konnten sie häufig beim Fixieren einer *grellen* Fläche beobachtet werden.

Auffallend bei allen Blendungsversuchen war, daß die zunächst außerordentlich grell erscheinende Fläche nach einigen Minuten viel von der ursprünglichen Helligkeit einzubüßen schien (siehe Versuch No. 41). Ein leichtes momentanes Lüften des Verbandes des Kontrollauges belehrte dann, daß es die *Adaptation* des geblendeten Auges war, welche die Veränderung der Helligkeit vortäuschte; mit dem nichtgeblendeten Auge erschien die Fläche in ursprünglicher Helligkeit.

Bemerkenswerterweise treten zu dieser Zeit die „Fixationsblendungsbilder“ weniger leicht auf.

6. *Vergleichung der Beobachtungen bei Benützung von künstlichem Licht, Wolkenlicht, Schneelicht und von Licht, das von einer weissen Papierfläche oder von weißer Leinwand reflektiert wird, als primäre Lichtquelle.*

Differenzen in den Nachbildphasen bei Benutzung der verschiedenen Lichtquellen waren insofern vorhanden, als weniger

intensive Lichtflächen bei gleicher Fixationsdauer einzelne Nachbildphasen, insbesondere die Rotphasen, weniger deutlich erzeugten, als dies bei helleren Lichtflächen der Fall war.

Die Herabsetzung der Intensität der primären Lichtfläche hat wahrscheinlich ähnliche Wirkung, wie die Verkürzung der Fixationsdauer. Die Rotphase und die Gelbphase ließen sich durch jede Belichtungsart hervorrufen, am leichtesten jedoch durch die sonnenbeschienene weiße Fläche. Ziemlich gleich verhielten sich weiße Papier- resp. Leinwandfläche und Schneefläche.

Die Beobachtung bei geschlossenem Auge ist außerordentlich viel leichter, bei Verwendung einer *scharfbegrenzten* Fläche als primäre Lichtquelle, deren Grenzen sich auf der Netzhaut abbilden, z. B. bei Verwendung des Wolkenlichts, das durch ein quadratisches Fenster tritt. Der Kontrast, der durch die Begrenzung der Fenster stattfindet, ist es zweifellos, welcher bei geschlossenem Auge das Erkennen des Nachbildes in ähnlicher Weise erleichtert, wie es dies bei offenem Auge das Kontrollauge besorgt.

7. *Beobachtungen im reagierenden Licht mit und ohne Blendungsrohr.*

Die soeben erwähnte Beobachtung führte uns dazu, bei Benutzung von diffusen, die ganze Netzhaut ziemlich gleichmäßig beleuchtenden primären Lichtquellen (z. B. Schneeflächen) bei der Beobachtung im reagierenden Licht künstlich einen Kontrast dadurch hervorzurufen, daß wir das geblendete Auge durch ein Abblendungsrohr blicken ließen. Über die Größe desselben siehe oben Seite 25.

Es wurde mit dem Abblendungsrohr so beobachtet, daß gleichzeitig *beide* Augen offen gehalten wurden, eventuell wurde gleichzeitig ein gleiches, zweites Rohr, um gleiche Bedingungen herzustellen, auch vor das Kontrollauge gehalten, oder es wurde das Rohr abwechselnd vom einen zum andern Auge gebracht, wobei konstant *beide* Augen offen blieben.

Mit Hülfe dieses Abblendungsrohres ist es möglich, feinste Farbendifferenzen zwischen geblendetem und nicht geblendetem Auge auch dann noch sehr scharf wahrzunehmen, wenn ohne Rohr entweder gar keine oder nur noch eine kleine Helligkeitsdifferenz zwischen beiden Augen zu bestehen scheint.

Die ersten unserer Versuche sind ohne dieses Hülfsmittel vorgenommen worden; wir halten seine Benutzung für alle weiteren Untersuchungen über Blendungsnachbilder für absolut unerläßlich.

8. *Auffrischung der Nachbilder.*

Schon früheren Beobachtern von Nachbildern, so auch *Fuchs*[1]), war es aufgefallen, daß ein im Verschwinden begriffenes oder verschwundenes Nachbild in erneuter Frische wieder aufzutreten pflegt, wenn das Auge für einige Sekunden oder Minuten

[1]) Ueber eine schon von *Helmholtz* beobachtete Art von Auffrischung s. o. pag. 33.

verdeckt wird. Diese Erscheinung konnten auch wir vielfach beobachten (siehe Versuche No. 9—20 und viele andere).

Bisweilen schien auch eine Erhellung für kurze Zeit (Blick durch Tür-Oberlicht) das Nachbild wieder aufzufrischen. Eine Auffrischung durch Schließen der Augen findet nach unsern Beobachtungen leichter statt bei *begrenzter* primärer Lichtquelle (z. B. Fensterlicht), als bei diffuser.

9. *Blendung mit Licht, das durch gelbe Gläser und Schwerflint 0,198 filtriert ist. Blendungsversuche mit ultravioletten Strahlen und reinem Spektrallicht.*

Wie *Vogt* zuerst gezeigt hat, läßt sich Blendungserythropsie trotz Vorschalten eines Glases, das sämtliches Ultraviolett komplett absorbiert (9 bis 10 mm dicker Schwerflint der Fa. Schott und Genossen, Jena) oder durch intensive gelbe Gläser, die außer dem Ultraviolett auch noch einen großen Teil von Violett und Blau absorbieren — bei Abblendung des seitlichen Lichts —, durch eine sonnenbeschienene Schneefläche mit Leichtigkeit erzeugen.

Es wurde damit bewiesen, daß die ultravioletten Strahlen nicht oder doch sicher nicht allein, wie man bisher geglaubt hatte (*Schulek*, *Fuchs*, *Schanz* und *Stockhausen* u. A.), die Ursache der Erythropsie darstellen.

Nachdem *Best* zu gleichem Resultat gelangt war, haben wir selber eine Nachprüfung der *Vogt*schen Versuche vorgenommen und trotz Vorschaltens von Eisenoxydgläsern, die sämtliches Ultraviolett und den größten Teil von Violett und Blau absorbieren, und von Schwerflint 0,198 in der erwähnten Dicke mit ziemlicher Leichtigkeit Erythropsie erzeugen können (Vers. 66, 67).

Nach unserer durch die Versuche gestützten Auffassung ist es, wie dargelegt werden soll, undenkbar, daß die ultravioletten Strahlen bei der Entstehung der Erythropsie eine nennenswerte Rolle spielen. Da aber gegen diese schon von *Vogt* vertretene Anschauung[1]) immer wieder Stimmen laut werden, haben wir es unternommen, durch Blendung des Auges mittelst Ultraviolett des Sonnenlichts die Behauptung von der Bedeutung des Ultravioletts für das Zustandekommen der Erythropsie auf ihre Richtigkeit zu prüfen.

Von Herrn Professor Dr. *Tuchschmid*-Aarau wurde uns in zuvorkommender Weise zu diesem Zwecke ein Handheliostat und die zur Erzeugung des Sonnenspektrums nötige Einrichtung (Flintglasprisma) zur Verfügung gestellt. Das sichtbare Spektrum hatte eine Breite von ca. 5 cm. Die Untersuchung fand am 20. Mai 1911 bei direktem Sonnenlicht statt. Die Fixation des Ultraviolett während $1^1/_2$ Minuten erzeugte nur dann eine Spur Blendungsgefühl, wenn an der Grenze des Ultraviolett etwas Violett mitfixiert wurde. Nach Schluß der Fixation wurde unmittelbar

[1]) Ueber einen diesbezüglichen Versuch von *Vogt* mit Ultraviolett der Bogenlampe, s. o. pag. 10.

ein im halbdunkeln Zimmer aufgestellter, weißer Schirm fixiert. Das zweite, vorher mit Klappe verschlossene Auge wurde als Kontrollauge benutzt. Es zeigte sich nur dann, wenn etwas Violett mitfixiert wurde, ein während höchstens 20 Sekunden anhaltendes, schwach gelbes Nachbild (festgestellt mit Hülfe des Abblendungsrohres). Von beiden Untersuchern wurde der Versuch wiederholt und zwar an dem Ultraviolett einer über 1200 Kerzen starken Bogenlampe. Auch in diesem Falle konnten wir außer dem gelblichen, jedenfalls auf das äußerste Violett zu beziehenden, sehr kurz dauernden Nachbilde keine Nachbildphase beobachten.

Ebensowenig wie *Birch-Hirschfeld* konnten wir somit mit reinem Ultraviolett Erythropsie erzeugen.

Die übrigen Teile des Spektrums, sowohl der Sonne, als der Bogenlampe, wurden von uns ebenfalls zu Blendungsversuchen benutzt, namentlich deshalb, weil wir dem Einwande begegnen wollten, daß diese Lichtquelle vielleicht zur Erzeugung von Erythropsie zu schwach gewesen sei. Es wurde von jedem Untersuchenden zunächst die blaugrüne, grüne und die gelbgrüne Zone fixiert. Das Blendungsgefühl ist in dieser Zone weitaus am stärksten. Wegen des hochgradigen Blendungsgefühls wagten wir diese Zone nicht länger als eine Minute zu fixieren. Der Erfolg war ein außerordentlicher: Die entstehende Erythropsie von purpurroter bis rosaroter Farbe trat in dem halbverdunkelten Raume sofort auf und dauerte zwei Minuten. *Mit allen anderen Farben des Spektrums* (Fixationsdauer eine Minute) ließ sich keine Erythropsie erzeugen. Rot erzeugte ein blaues, Blau ein gelbes Nachbild, das je 1 bis 2 Minuten anhielt. Die Beobachtungen waren am Sonnenspektrum und am Bogenlampenspektrum dieselben. Ebenso deckten sich genau die Wahrnehmungen der beiden Beobachter sowohl in Bezug auf Farbe, als Dauer der Nachbilder.

Wir schließen aus diesen Versuchen, daß die Erythropsie einzig und allein durch die grüne, z. T. auch blaugrüne und gelbgrüne Strahlung erzeugt wird.

Schon *Fuchs* war es aufgefallen, daß mittelst grüner Gläser Erythropsie am leichtesten erzielbar ist. Die von ihm benutzten Gläser waren jedoch von unbekannter quantitativer und qualitativer Absorptionsfähigkeit (siehe oben pag. 14).

Vogt benutzte (Ursache und Wesen der Erythropsie) zur Filtration Anilinfarbenlösungen und fand, daß am geeignetsten zur Erzeugung der Erythropsie blaugrüne Strahlen, etwa von der Färbung des Erioviridins seien. Gar nicht oder nur andeutungsweise ließ sich Erythropsie mit roten Strahlen erzeugen.

10. *Beobachtung des Nachbildes im reagierenden Licht, das durch Erioviridinlösung filtriert wurde.*

Die *Fuchs*sche Theorie ist, wie oben Seite 17 gezeigt wurde, von *Vogt* dadurch widerlegt worden, daß er im reagierenden Lichte mit Hülfe von Erioviridinlösung die roten Strahlen ausschaltete.

Trotzdem hierauf zur Netzhaut und damit zum Sehpurpur nur von roten Strahlen befreites Licht gelangen konnte, trat die Erythropsie auf. Diese konnte also nicht durch Sichtbarwerden roten Lichts, also auch nicht durch Sichtbarwerden des Sehpurpurs zustande kommen, denn dieser letztere mußte, wenn er nicht fluoreszierend war, sein rotes Licht vom reagierenden Licht empfangen.

Wir haben diesen Versuch mehrfach einer Kontrolle unterzogen und das Ergebnis von *Vogt* bestätigen können.

Um einwandfreie Resultate zu erhalten, ist es notwendig, die Erioviridinlösung vor dem Versuche bei *dem reagierenden Lichte*, das zum Versuche benutzt wird, spektroskopisch auf ihre Durchlässigkeit für Rot zu prüfen. Die Verdünnung soll so sein, daß sie gerade ausreicht, um sämtliches Rot des Lichtes des Beobachtungsraumes zu absorbieren. Leichtere Grade von Erythropsie ist die Lösung imstande aufzuheben, d. h. bei vorhandener Erythropsie verschwindet diese, wenn der Apparat mit der Lösung vor das Auge gehalten wird. Die gleiche Erscheinung, wie wenn wir bei bestehender Erythropsie blasses Grün nicht mehr erkennen. *Intensivere Grade von Erythropsie (siehe Vers. No. 58, 59, 60 und 65) vermag die Lösung nicht aufzuheben.*

Als Apparat zum Einfüllen der Lösung diente ein von *Desaga*-Bern bezogenes Glasgefäß mit planparallelen Platten von 1 cm Distanz. Das Gefäß war so in doppeltes, lichtundurchlässiges, schwarzes Tuch eingeklebt, daß bei Anfüllung des Gefäßes bis zu ¾ und Vorhalten desselben vor die Augen alles reagierende Licht, das zum Auge gelangte, durch die Lösung filtriert war.

Über die Schlußfolgerungen s. S. 17 und 18.

11. *Rotphase des Nachbildes und die übrigen Phasen.*

Die Dauer der Rotphase, um die es uns in erster Linie zu tun ist, ist verschieden je nach der Dauer der Fixation, Intensität des primären Lichts und ganz besonders je nach der Intensität des reagierenden Lichts. Während sie bei Versuch 51 z. B. nur 70 Sekunden dauerte, wurde sie in Versuch 70 während 4500 Sekunden, also über eine Stunde beobachtet. Durch das Votum von *Schanz* zu dem Vortrage von *Vogt* „Ursache und Wesen der Erythropsie", Versammlung der ophthalmologischen Gesellschaft zu Heidelberg, 1908, scheint sich in die Literatur über Erythropsie die irrtümliche Auffassung eingeschlichen zu haben, daß nur „stundenlanges Wandern" über Schneefelder Erythropsie zu erzeugen imstande sei. Woher diese Auffassung kommt, ist uns nicht erklärlich (*Schanz* hatte experimentell nie Erythropsie erzeugt). Wir finden diese Auffassung auch bei *Best*, indem er schreibt (Klinische Monats-Blätter für Augenheilkunde, März 1908, Seite 348): „Will Vogt neue Tatsachen auf dem Gebiet der Erythropsie für einen Skeptiker, wie z. B. in diesem Falle *Schanz*, beweisen, so kann mit Recht verlangt werden, daß er wenigstens intensive Erythropsie durch stundenlanges Wandern in dem Schnee erzeugt. Intensive Erythropsie

ist eine weit eindringlichere und aufallendere Empfindung, als die rötere Tönung nach *kurzem* Fixieren blendender Flächen."

Vergleicht man unsere Resultate mit den *Fuchs*schen, so zeigt sich, daß bei *geeignetem reagierendem Licht* schon nach eine Viertelstunde lang währender Blendung Erythropsien erzeugt werden können, deren Dauer diejenige der von *Fuchs* beobachteten um das Mehrfache übertreffen. *Fuchs* selber war es wohlbekannt, daß auch in der Ebene nach Atropinisierung des Auges durch Fixieren einer Schneefläche während längerer Zeit sehr leicht Erythropsie erzeugt werden kann. Die Erythropsie, welche nach kurzem Fixieren (wenige Minuten) erzielbar ist, unterscheidet sich in *nichts* von derjenigen, die nach einem eine halbe Stunde langen Fixieren auftritt, außer durch ihre Intensität und Dauer, wie unzweideutig aus unseren Versuchen hervorgeht. Im Gegenteil, wie die Versuche von *Fuchs*, sowie die von *Vogt* zeigten, nimmt nach stundenlanger Einwirkung des Schneelichtes die Fähigkeit, Erythropsie zu erzeugen, in hohem Maße ab.

Leider gibt *Fuchs* nichts Genaues über die Dauer der von ihm beobachteten Rotphasen an. An einer Stelle sagt er, daß sie 1 bis 2 Minuten gedauert habe. (Nach drei bis vier Minuten hatte alles wieder seine natürliche Farbe.)

Die Qualität des Rot hat *Fuchs* in allen seinen Versuchen als purpurrot bezeichnet. Er erwähnt zwar, daß bei seinen Versuchen zuweilen Orange vorausging. Im Gegensatz zu *Fuchs* hat *von Reuß* gefunden, daß bei verschiedenen seiner Patienten das Rot als schwankend zwischen dem Rot des Spektrums, Gelbrot und Purpurrot angegeben wurde. Besonders im Beginne der Erythropsie konnten wir selber sehr häufig Gelbrot beobachten; auch war das Rot, wie aus unsern zahlreichen Farbendefinitionen deutlich genug hervorgeht, im ganzen Verlauf der Erythropsie nicht immer Purpur- oder Rosarot, sondern lehnte sich vielfach an violette Töne an.

Die Blendungsnachbildphasen sind außer von *Vogt* vor uns nicht genau beschrieben worden. Zwar erwähnt *Fuchs*, daß einzelne Beobachter vor und nach der Erythropsie verschiedenartige Farbenempfindungen hin und wieder gehabt hätten (siehe oben Seite 12). Indessen geht er auf die letzteren nicht genauer ein. *Vogt* hat diese Farbenempfindungen, insbesondere die Gelbphase, die auf die Rotphase zu folgen pflegt, beschrieben und der Rotphase koordiniert. Über eine (offenbar durch die Gelbphase bedingte) Störung des Blausinnes berichtet Krienes (siehe oben S. 13, vergl. auch oben S. 10, Fall von *Valude*, Hemierythropsie und -xanthopsie).

Wie aus ämtlichen Versuchen hervorgeht, ist die von uns in ihren Farbennuancen genau definierte Gelbphase eine konstant der Rotphase folgende Erscheinung, die je nach der Intensität des reagierenden Lichts früher oder später die Rotphase ablöst. Gewöhnlich geht die Rotphase zuerst in Gelbrot, dann in Hell- bis Zitronengelb über, mit welchem Farbenton das Nachbild schließlich ausklingt.

Während bei Versuch 38 (Schneeblendung) die Rotphase nur 255 Sekunden dauert, dauert die Gelbphase 12 Minuten.

Nach langer Fixation (15 bis 30 Minuten) beobachteten wir, daß die Rotphase nach vielen Minuten allmählich in Blaßlila überging, dann schließlich in Hell-Gelbgrün, das nur eine geringe Intensität besaß. Dieses Hellgrün schien dem Lila komplementär zu sein. War z. B. (Versuch 72 bei Minute 15) nur noch ein blasser Lilaschimmer vorhanden, so verschwand dieser plötzlich und machte einem hell-gelbgrünen Ton Platz, sofern die Intensität des reagierenden Lichts herabgesetzt wurde.

Auch diese Fälle zeigen uns, wie zahlreiche andere in unseren Versuchen niedergelegte Beobachtungen, wie sehr die Farbe der Nachbilder von der Intensität des reagierenden Lichts abhängig ist.

In den Fällen, bei denen das fixierte Objekt scharf begrenzt war (z. B. bei den Versuchen mit künstlicher Lichtquelle oder Fensterlicht), wo sich also die Phase *bei geschlossenem Auge* leicht erzeugen ließ, ließ sich feststellen, daß das Nachbild bisweilen bei offenem Auge demjenigen bei geschlossenem komplementär war (z. B. Versuch 76, 77, 78). Daß dies jedoch nicht immer der Fall war, beweisen die Versuche No. 9—20.

Das von *Fuchs* beobachtete *Grünsehen* (nach seinen Angaben während der Erythropsie an sehr dunklen Gegenständen zu beobachten, s. oben S. 12) wurde von uns mehrfach wahrgenommen, und zwar meistens gleich zu Beginn der Einwirkung des reagierenden Lichts, zu einer Zeit, zu der sich die Netzhaut noch nicht adaptiert hatte und der Beobachtungsraum dem geblendeten Auge dunkel erschien. Immer trat das Grünsehen nur in völlig verdunkelten Teilen des Gesichtsfeldes auf; wo Grünsehen war, konnten Umrisse von Gegenständen *nicht* wahrgenommen werden.

Fuchs hat *vereinzelt* beobachtet, daß sich das Zentrum des Gesichtsfeldes während der Erythropsie etwas anders verhielt, als die Peripherie (siehe oben S. 15). Er hat diese Beobachtung für seine Theorie (Erythropsie = Sichtbarwerden des Sehpurpurs) zu verwerten gesucht. Andere Beobachter konnten im Gegensatze zu *Fuchs* feststellen, daß die Erythropsie im Zentrum des Gesichtsfeldes am stärksten ausgeprägt war. Da *Best Vogt* vorwirft, er hätte diese von *Fuchs* festgestellte Differenz zwischen Peripherie und Zentrum nicht berücksichtigt, trotzdem sie eine wesentliche Stütze der *Fuchs*schen Theorie bilde, haben wir uns in einer besonderen Versuchsreihe die Mühe genommen, Zentrum und Peripherie des Gesichtsfeldes zu vergleichen. Wir konnten, wie Versuche 47, 69, 70, 71 zeigen, folgendes feststellen:

1. Während der Rotphase war eine Differenz zwischen Zentrum und Peripherie nicht immer Festzustellen[1]).

2. Wo sie vorhanden war, zeigte sich in der Mitte des Gesichtsfeldes ein deutlich gelber, allmählich in die rote Umgebung über-

[1]) Es ist zu bemerken, daß, wie schon *Fuchs* gefunden hatte, die äußerste Peripherie (als der am wenigsten belichtete Teil) des Gesichtsfeldes von Erythropsie und anderen Nachbildphasen frei war.

gehender Fleck, der nur wenige Grade einnahm. Besonders deutlich war dieser gelbe Fleck, wenn das Abblendungsrohr benutzt wurde. Durch zahlreiche Versuche stellten wir fest, daß diese gelbe zentrale Partie bei Verwendung des Abblendungsrohres bedeutend *kleiner* erschien, als ohne Abblendungsrohr, unter sonst gleichen Bedingungen (siehe Versuche 47, 69, 70, 71).

Wurde das seitliche Licht abgeblendet, so war der Durchmesser der gelben Partie um etwa die Hälfte geringer, als ohne Abblendung.

Dadurch ist bewiesen, daß, wie schon von vornherein anzunehmen war, die differente Färbung des Zentrums nichts mit dem Fehlen des Purpurs in dem Zentrum der Netzhaut zu tun hat. Es handelt sich vielmehr, wie diejenigen Fälle beweisen, in denen gerade das Zentrum besonders schön rot erschien, entweder um eine besondere Empfindlichkeit des Netzhautzentrums gegenüber der Peripherie, oder aber um die Wirkung der stärkeren Belichtung des Netzhautzentrums, die bei Bestrahlung des Auges mit diffusem weißem Licht stets auftreten muß. Nimmt man eine größere Empfindlichkeit des Makulagebietes an, so müssen wir in der Gelbfärbung des Gesichtsfeldzentrums eine spätere Blendungsphase erkennen, womit übereinstimmt, daß der Rotphase stets die Gelbphase zu folgen pflegt. In ähnlicher Weise wird stärkere Belichtung der Makulagegend das verschiedene Verhalten von Zentrum und Peripherie erklären. Wird das Auge so belichtet, daß die eine, z. B. die obere Netzhauthälfte dem Licht stärker exponiert ist als die untere, so kann es zur sog. Hemierythropsie kommen, die *Fuchs* selber als Folge differenter Belichtung erklärt (s. oben S. 10 u. 12).

Vergleichen wir unsere gesamten Versuche in Bezug auf Reihenfolge, Farbe und Dauer der einzelnen Phasen, so können wir sagen, daß insbesondere nach längerer Fixation vor allem Rotphase und Gelbphase vorherrschen. Die andern Phasen (initiales Grün, Bläulich und Orange) treten gegenüber den erwähnten Phasen stark zurück. Unter Rotphase verstehen wir hierbei auch die gelbroten und lila Farbentöne, wie wir sie besonders in den Versuchen mit Schneeblendung und Blendung mit weißem Papier resp. Linnen beobachten konnten.

Wie sehr auch die erwähnten andersfarbigen Nachbildphasen von der Intensität des reagierenden Lichtes abhängig sind, geht aus diesen letzten Blendungsversuchen sehr deutlich hervor. *So konnten wir regelmäßig beobachten, daß bei Abwenden des Blickes von der fixierten Blendungsfläche im Freien momentan Erythropsie auftrat, ohne daß irgendeine anders gefärbte Phase vorausging.* Sofort verschwand jedoch diese Erythropsie und machte Grünsehen, Blausehen und Orangesehen Platz, sobald wir in den dunklen Beobachtungsraum traten. Es dauerte hier bis zum Auftreten der Erythropsie bisweilen ca. eine Minute, dafür hielt diese dann allerdings länger an als im Freien. *Immer wieder ist es also das reagierende Licht, von dessen Intensität die Nachbildphasen abhängen.*

12. *Ist die Erythropsie identisch mit der Rotphase des Nachbildes?*

Für denjenigen, welcher die *Fuchs*schen und unsere Experimente vergleicht, ist die Stellung dieser Frage überflüssig. *Fuchs* hat die gleichen Erscheinungen durch Fixieren einer Schneefläche in der Ebene bei erweiterter Pupille während „einiger Zeit" erzeugt, wie wir sie beschrieben haben. Daß auch ohne Erweiterung der Pupille dasselbe Phänomen zu erzielen ist, geht aus den Versuchen von *Vogt* und den unsrigen hervor. Fixierten wir während 20 Minuten (eine Zeit, die wohl von frühern Autoren nie angewendet wurde; *Fuchs* sagt nichts Bestimmtes über die Dauer seiner Fixationszeit) die von greller Sonne beschienene Schnee- oder Papierfläche bei erweiterter Pupille oder aber bei unerweiterter Pupille während einer halben Stunde, so gelang es uns, bei geeignetem reagierendem Licht bedeutend länger anhaltende Erythropsie zu erzeugen (siehe z. B. Versuch No. 70), als dies *Fuchs* und den anderen Beobachtern möglich war. Irgendeinen Grund dafür, daß die von uns beobachtete Rotphase *nicht* mit der *Fuchs*schen Erythropsie oder mit der von *Vogt* beschriebenen identisch wäre, vermögen wir nicht anzugeben. Die Richtigkeit der Auffassung: Erythropsie=Rotphase des Blendungsnachbildes geht aus allen unseren Versuchen hervor.

13. *Die Bedeutung unserer Versuche für die bisherigen Theorien.*

Aus dem in den vorigen Abschnitten Gesagten ergibt sich, daß kein Gurnd vorliegt, die Erythropsie als etwas anderes, als die Rotphase des Blendungsnachbildes aufzufassen. Wenn wir uns fragen, warum den Autoren *Dobrowolski* und *Fuchs* bei ihren experimentellen Studien über Erythropsie nur diese Rotphase des Blendungsnachbildes aufgefallen ist und aus welchem Grunde auch die mit Erythropsie behafteten Kranken sich nur über die Rotphase beklagen, so finden wir die Erklärung darin, daß unter den Blendungsnachbildphasen die Rotphase weitaus die auffälligste und bei stärkerer Blendung auch zeitlich die dominierende ist. Nur bei Verwendung des Kontrollauges gelingt es mit Sicherheit, die übrigen Phasen, insbesondere die Gelbphase, wahrzunehmen. Zwar sind auch von *Fuchs* und seinen Mitbeobachtern hin und wieder anders gefärbte Phasen wahrgenommen, jedoch nicht weiter studiert worden.

Daß die Theorie von *Fuchs*: Erythropsie=Sichtbarwerden des Sehpurpurs nicht haltbar ist, geht aus dem oben angeführten Versuch mit Erioviridinlösung hervor. Ebenso ist durch unsere Versuche, wie schon durch die Versuche von *Vogt* und *Best*, die Theorie von *Schulek*, *Fuchs*, *Schanz* und *Stockhausen* u. A. widerlegt, daß die Erythropsie eine Wirkung des Ultraviolett ist (siehe oben Versuch No. 66 und 67).

Trotz kompletter oder nahezu kompletter Ausschaltung des Ultraviolett aus dem Spektrum tritt Erythropsie leicht auf.

Nachdem alle unsere Versuche gezeigt haben, daß die

Erythropsie kein besonderes physiologisches oder pathologisches Phänomen darstellt, sondern nichts anderes als Nachbilderscheinung ist, sind wir gezwungen, die Theorie der Erythropsie zu identifizieren mit der Theorie des Nachbildes, speziell der Rotphase des Blendungsnachbildes.

Man könnte nun einwenden, daß sich zwar mit ultravioletfreiem Licht leicht Erythropsie erzeugen lasse, daß es aber immerhin auffallend sei, daß gerade aphakische Augen, deren Netzhaut einem an Ultraviolett sehr reichen Licht ausgesetzt ist, in besonders hohem Maße zu Erythropsie disponieren. Dieser Einwand ist besonders von *Birch-Hirschfeld* gemacht worden. Wenn wir selber (siehe oben) mit Ultraviolett keine Erythropsie erzeugen konnten, so wäre es denkbar, daß der Erfolg eben deshalb ein negativer war, weil unsere Linse einen großen Teil des Ultraviolett, insbesondere des kurzwelligen, absorbiere. Einen positiven Entscheid über diese Frage könnten nur Experimente mit Aphakischen, und zwar mit jugendlichen Aphakischen liefern (ältere Aphakische kämen des halb nicht in Betracht, weil die starke Gelbfärbung der Linse vor der Extraktion eine starke Absorption nicht nur des Ultraviolett, sondern auch des Violett und Blau bedingt, so daß nach der Extraktion auch der *sichtbare* Teil des Spektrums quantitativ und qualitativ stark verändert ist).

Allein die kurzwelligen Partien des Ultraviolett, die hier in Betracht fallen, sind zweifellos nicht imstande, eine irgendwie lebhaftere Fluoreszenz im Auge hervorzurufen, welche ein Nachbild veranlassen könnte. Da aber, wie unsere Versuche zweifellos ergeben, die Erythropsie eine Nachbildphase darstellt, können Strahlen von so geringer Lichtwirkung neben den leuchtenden Strahlen nicht in Betracht fallen.

14. *Die Bedeutung der Blendungsversuche für die Farbenwahrnehmung.*

Nachgeprüft wurde von uns vielfach die von *Vogt* festgestellte Veränderung unserer Farbenperzeption durch Einwirkung intensiven Tageslichtes auf unser Auge (über den einfachen, von jedermann leicht anzustellenden Versuch siehe oben S. 48).

Wir haben, um eine genauere Bestimmung der Farbenveränderung zu geben, die mit belichtetem und unbelichtetem Auge gesehenen Farben an Hand des code des couleurs von *Klincksieck* und *Valette* zu bestimmen versucht. Es ergaben sich sehr auffallende Resultate (die Zahlen beziehen sich auf die Farbentafel).

Es wurde zu diesem Zwecke eine weiße, von der Sonne beschienene Papierfläche mit dem einen Auge 1 bis 2 Minuten fixiert, während das andere Auge durch eine Schutzklappe und Watte verschlossen wurde. Um sehr prägnante und einwandfreie Differenzen zu erhalten, ist es zweckmäßig, wenn vor Beginn des Versuchs beide Augen einige Minuten im Dunkeln ausgeruht haben. Die Feststellung der Farben wird bei etwas herabgesetzter Beleuchtung

vorgenommen, damit das Kontrollauge durch Licht möglichst wenig beeinflußt wird. Die auffallendsten Differenzen ergeben sich für gelbe, braune und braunrote Töne.

Eine Erklärung zu den Ergebnissen geht ohne weiteres aus unseren Experimenten hervor (Wirkung der Rotphase und Gelbphase).

Die außerordentliche Bedeutung dieser Beeinflussung der Farbenwahrnehmung durch das Tageslicht für die Technik und insbesondere die Kunst, wird ohne weiteres klar, wenn wir berücksichtigen, daß wir mit demselben Auge ein und dieselbe Farbe ganz anders sehen können, je nachdem das Auge vorher belichtet war oder nicht.

Dem Künstler erscheint ein Landschaftsbild ganz anders, je nachdem sein Auge stärkerem Sonnenlicht ausgesetzt war oder nicht, und zwar nicht nur in Bezug auf Helligkeit der Farbentöne, sondern auch besonders in Bezug auf die Art der Farbe selbst.

Einen Fall von mit dem Auge des Erythropen gesehener Schneelandschaft des Kunstmalers *Wyß* in Zofingen erwähnt *Vogt*. Auffallenderweise ist dem Künstler diese Beeinflussung der Farbe durch das Sonnenlicht nicht bekannt.

Empirisch ist die Technik darauf gekommen, in Fällen, bei denen es sich um Differenzierung feiner Farbennuancen handelt, das Auge gegen direkte Belichtung durch grelles Tageslicht zu schützen. So haben wir in Erfahrung gebracht, daß in den großen Zigarrenfabriken des Aargaus in den Sortiersälen das direkte Sonnenlicht sorgfältig abgehalten wird durch Fenstervorhänge, sowie durch Karton-Schutzdächer, welch letztere von den Arbeitern als Abblendungsschirme benutzt werden. Nur in dieser Weise ist es den Arbeitern möglich, die Zigarren nach den feinen Nuancen der Deckblattfarbe zu sortieren. Diese Abblendungsschirme erinnern in ihrer Wirkung an die von uns benutzte Kartonröhre, welche, wie oben gezeigt wurde, die Unterscheidung geringster Farbendifferenzen ermöglichen.

Schlußfolgerungen.

I.

Die verschiedenen Theorien der Erythropsie, welche von *Dobrowolski*, *Schulek*, *Fuchs*, *Dufour*, *Hilbert*, *Purtscher*, *Pino*, *Galezowski*, *Schanz* und *Stockhausen* u. A. aufgestellt worden sind, können nach unsern Versuchen als widerlegt betrachtet werden. Alle unsere Versuche ergeben übereinstimmend mit denen von *Vogt*, daß die Blendungserythropsie identisch ist mit der Rotphase des Nachbildes der blendenden Fläche und daß es die *sichtbaren* Strahlen sind, welche diese Rotphase veranlassen. Den ultravioletten Strahlen kommt für die Entstehung der Erythropsie keine Bedeutung zu.

II.

Unter den Nachbildphasen der weißen Fläche dominiert neben der Rotphase die Gelbphase, welche der ersteren zu folgen pflegt

und eine der Blendungserythropsie analoge Blendungsxanthopsie bedingt.

III.

Die Erythropsie ist sowohl in Bezug auf ihre Intensität und Dauer, als auch in Bezug auf die Dauer der einen oder anderen Nuance des Rot abhängig:

1. von der Intensität und Einwirkungsdauer des primären Lichts;

2. in noch weit höherem Maße von der Intensität des reagierenden Lichts.

Sie ist um so intensiver und länger anhaltend, je länger und intensiver das primäre Licht einwirkt und je geringer die Intensität des reagierenden Lichts ist.

Sie wird nach der Blendung um so später wahrgenommen, je geringer die Helligkeit des reagierenden Lichtes ist. Die Dauer der Blendungserythropsie kann bei genügender Herabsetzung des reagierenden Lichtes nach unseren Versuchen 30 Minuten und mehr betragen.

Ihr vorausgehende Nachbildphasen (grün, orange etc.) sind um so deutlicher wahrnehmbar und dauern um so länger, je geringer die Helligkeit des reagierenden Lichtes ist.

IV.

Ohne Verwendung des Kontrollauges und einer geeigneten Abblendungsvorrichtung (Abblendungsrohr) ist eine *genaue* Wahrnehmung und Definition der Farben der Nachbildphasen nicht möglich. Unter gleichen Bedingungen: Intensität und Einwirkungsdauer des primären Lichts, Intensität des reagierenden Lichts, Kontrollauge und Abblendungsrohr, bestehen für die Blendungsnachbilder verschiedener Personen keine nennenswerten Differenzen.

V.

Ohne Mydriasis pflegt sich auch in der Ebene (nicht nur im Gebirge) durch Blendung mit einer weißen, sonnenbeschienenen Fläche bei jedermann Erythropsie einzustellen. Mydriasis wirkt begünstigend auf den Eintritt der Erythropsie.

VI.

Die Qualität der weißen Blendungsfläche (ob Schnee, Leinwand, weißes Papier) ist für die Erythropsie ohne Bedeutung.

VII.

Von allen Strahlen des sichtbaren Spektrums sind nur die grünen resp. gelb- und blaugrünen zur Erzeugung von Erythropsie geeignet.

VIII.

Die Blendungsnachbildphasen, insbesondere die Erythropsie und Xanthopsie, sind für die Farbenempfindung von großer Wichtigkeit, insbesondere auf dem Gebiete der Kunstmalerei und gewisser Zweige der Technik.

Literatur-Verzeichnis.

1. *Widmark, E. J.*, Ueber den Einfluß des Lichtes auf d. vord. Medien d. Auges. Skandinav. Arch. f. Phys. 1889, und Beitr. z. Opht. 1891. — 2. Derselbe, Ueber die Durchdringlichkeit der Augenmedien für ultraviolette Strahlen. Skand. Arch. f. Phys. Bd. 1. und Beitr. z. Ophthalm. 1891. — 3. *Fuchs, E.*, Über Erythropsie. Arch. f. Opthalm. Bd. 42. 3 und 4. 1896. — 4. *Vogt*, Beiträge zur Frage der Blendungserythropsie. Arch. f. Augenheilk. LX. S. 91. 1908. — 5. *Becker*, Handbuch der Augenheilkunde von Graefe und Saemisch, Pathologie und Therapie des Linsensystems. 1877. V. Bd. S. 465. — 6. *Galezowski*, Receuil d'ophtalm. 1879. S. 534. — 7. Derselbe, Gazette méd. de Paris. 1879. pag. 361. — 8. *Hirschler*, Zum Rotsehen der Aphakischen. Wien. med. Woch. 1883. No. 4, 5. und 6. — 9. *Purtscher*, Zur Frage der Erythropsie Aphakischer. Zbl. f. prakt. Augenheilk. 1883. S. 161. — 10. *Dimmer*, Zur Erythropsie Aphakischer, Wien. med. Woch. 1883. No. 15. — 11. *Robertson*, Epileptic aphasia and hemiplegia, coloured vision. Brit. med. Journal. 1874. 18. April. pag. 515. — 12. *Hughlings Jackson*, Ophtalmic Hospital Reports, 1874. pag. 91. — 13. *Gowers*, Bowman Lecture, Ophthalmic Review, 1895. pag. 199. — 14. *Bennet*, Erythropsie als Aura bei einem Epileptiker (Herd im Gyrus angularis). Brit. med. Journ. 1887. Jan. — 15. *Von Krafft-Ebing*, Jahrb. f. Psych. 1883. III. Bd. — 16. *Charcot*, Les troubles de la vision chez les hystériques. Gaz. des hôp. 1878. No. 9. — 17. Derselbe, Episodes nouveaux de l'hystéro-épilepsie. Zoopsie. Catalépsie chez les animaux. 1878. — 18. *Szili*, Einige Bemerkungen zur Erythropsiefrage. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. 1886. S. 259. — 19. *Van Millingen*, Contribution à l' étude de l'érythropsie. Annales d'oculistique. Vol. 108. pag. 417. 1892. — 20. *Berger*, Ein Fall von Erythropsie. Zbl. f. prakt. Augenheilk. 1885, S. 140. — 21. Derselbe, Accès d'érythropsie chez un aveugle. Rev. gén. d'ophtalm. 1893. No. 2. pag. 65. — 22. *Purtscher*, Neue Beiträge zur Frage er Erythropsie. Arch. f. Augenheilk. XVII. Bd. S. 260. 1887. — 23. *Hilbert*, Ueber ei e eigentümliche Ermüdungserscheinung des nervösen Sehapparates und seine Beziehungen zur Erythropsie. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. 1884. pag. 403. — 24. *Valude*, L'erythropsie. Arch. d'opht. VIII. Bd. pag. 130. 1888. — 25. *Szili*. Ueber Erythropsie. Zbl. f. prakt. Augenheilk 1885. S. 44. — 26. Derselbe. Bemerkungen zur Erythropsie. New York. med. Journ. 1885. II. — 27. *Greeff*, Bericht über die Versammlung zu Heidelberg. 1895. S. 15. — 28. *Purtscher*, Weitere Beiträge zur Frage der Erythropsie. Zbl. f. prakt. Augenheilk. 1885. S. 48 und 72. — 29. *Fuchs*, Klinische Miszellen. Arch. f. Augenheilk. XIV. Bd. 1885. S. 385. — 30. *Fuchs*, On Erythropsia. The ophthalmic Review. 1895. pag. 242. — 31. Derselbe, Bericht über die Versammlung zu Heidelberg. 1895. S. 4. — 32. Derselbe. Ueber Erythropsie. Von Graefes Arch. XXXIV. Bd. S. 397. — 33. *Hilbert*, Zwei Fälle von Erythropsie bei intakten brechenden Medien. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. 1891. S. 389. — 34. *Mackenzie*, A practical treatise on the diseases of the eye. 4. ed., London. 1854. pag. 932. — 35. Derselbe, Prakt. Abhandlungen über die Krankheiten des Auges. Weimar. 1832. — 36. Derselbe, Medic. Transactions of the college of Physicians. IV. S. 56. 1813. — 37. *Schaubach*, Die deutschen Alpen. V. Bd. 2. Aufl. 1867. — 38. *Von Reuß*, Ophth. Mitteilungen aus der II. Augenklinik in Wien. Wien. med. Presse. 1885. No. 22 bis 25. — 39. *Schulek*, Ungarische Beiträge zur Augenheilkunde. I. Bd. pag. 101. 1895. — 40. *Pflüger*, Bericht über die Berner Augenklinik für 1883. — 41. *Carreras*, La erythropsia en los operados de Cataracta. Rev. de sciences med. 1886. pag. 391. — 42. *Galezowski*, De l'érythropsie ou vision colorée des opérés de la cataracta. Arch. slav. de biol. I. S. 426. — 43. Derselbe, Sur la perception du rouge de la rétine par le malade lui-même. Gaz. méd. de Paris. 1878. No. 28. — 44. *Katzaurow*, Zur Frage über die Erythropsie infolge von Aphakie. Wratsch. 1884. No. 15. — 45. *Purtscher*, Ein Fall von Erythropsie nach Cataracta traumatica. Zbl. f. prakt. Augenheilk. 1881. Nov. S. 333. — 46. *Marbourg*, Ann. of ophthalm. and otol. I.

pag. 179. 1892. — 47. *Beaumont*, Aphacial erythropsia. The ophth. review. 1892. pag. 72. — 48. *Meyhöfer*, Jodoform nach Staroperationen. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. 1884. S. 168. — 49. *Steinheim*, Zur Kasuistik der Erythropsie. Zbl. f. prakt. Augenheilk. 1884. S. 44. — 50. *Berry*, Subjective symptoms in eye-diseases. 1886. pag. 67. — 51. *Dufour*, Sur la vue rouge ou l' érythropsie. Annales d'oculistique. Vol. 99. pag. 135. 1888. — 52. *Hilbert*, Arch. f. Augenheilk. 29. Bd. S. 28. 1894. — 53. *Mayerhausen*, Zur Kenntnis der Erythropsie. Wien. med. Presse. 1882. No. 42. — 54. *Patouillet*, Middlemore. Vol. II. pag. 237. — 55. *Szokalski*, Ueber die Empfindungen der Farben etc., Gießen, Académie des sciences. 1842. — 56. *Simi*, Erythropsie, Bolletino d'oculistica di Simi, XI. pag. 35. 1889. — 57. *Vetsch*, Ueber das Rotsehen. Korrespondenzbl. f. Schweizer Aerzte. 1889. — 58. *Hilbert*, Zur Kenntnis der Erythropsie. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. 1886. S. 483. — 59. *Kubli*, Revue Russe d'ophtalm. 1887. Mai u. Juni. — 60. *Krienes*, Ueber Hemeralopie. Wiesbaden. 1896. — 61. *Von Reuß*, Beiträge zur Kenntnis der Erythropsie. Arch. f. Augenheilk. LXII. 1909. S. 113. — 62. *Benson*, On Erythropsia in Aphacia. The ophthalm. review, II. Bd. 1883. S. 361. — 63. *Dobrowolski*, Von Graefes Arch. f. Ophth. 33. Bd. 2. Abtlg. S. 213. 1887. — 64. *Birch-Hirschfeld*, Die Wirkung der ultravioletten Strahlen auf das Auge. Arch. f. Ophthalm. Bd. 58. Heft 3. 1904. — 65. *Eder* und *Valenta*, Absorpsionsspektren von farblosen und gefärbten Gläsern mit Berücksichtigung des Ultraviolett. Denkschriften der k. k. Akademie der Wissenschaften (naturwissenschaftliche Klasse). 1894. — 66. *Cornu*, Comptes rend. 88. 89. 90, und Journal de physique. 10. — 67. *Mascart*, Traité d'optique. Paris. 1893. Vol. III, pag. 373. — 68. *A. Bemporad*, Die Exstinktion des Lichts in der Atmosphäre, in A. Winkelmanns Handbuch der Physik. 1906. S. 584 ff. — 69. *Vogt*, Ursache und Wesen der Erythropsie. Bericht über die XXXV. Versammlung der ophthalmologischen Gesellschaft. Heidelberg. 1908. — 70. *Krienes*, Archiv f. Augenheilk. XXXI. Bd. Ergänzungsh. S. 141. 1895. — 71. *Best* und *Hänel*, Rotgrünblindheit nach Schneeblendung. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. 1907. Beilageheft. — 72. *Brücke*, Vorlesungen über Physiologie, 1. Aufl. II. Bd. S. 124. — 73. *Ewald*, Über die entoptische Wahrnehmung der Macula lutea und des Sehpurpurs. Untersuchungen aus dem physiologischen Institute zu Heidelberg. II. Bd. 1882. — 74. Tait. Proceedings of the Royal Society of Edinburg. VII. Bd. 1869—72. S. 605. — 75. *Boll*, Arch. f. Anatomie u. Phys. Phys. Abteil. 1877. S. 20. — 76. *Kühne*, Handbuch der Physiologie. Herausg. von Hermann. III. Bd. S. 330. — 77. *König*, Ueber den menschlichen Sehpurpur und seine Bedeutung für das Sehen. Sitzungsbericht der Berliner Akademie. 1894. S. 577—598. — 78. *Köttgen* und *Abelsdorff*, ibidem. Sitzung der physikalisch-mathematischen Klasse vom 25. VII. 1895. — 79. *Snellen*, Erythropsie. Niederländ. Ges. f. Ophthalm. Sitzung vom 13. XII. 1896. Ref. Annales d'oculist. T. CXVII. S. 155. — 80. *Koster, W.*, Verslag over eenige experimenten betreffende de erythropsie. Nederl. Tijdschrift v. Gen. I. S. 86. 1899. — 81. *Birkhoff*. Bijdrage to de Kennis der Erythropsie. Dissert. Leiden. 1899. — 82. *Oßwald*, Ueber Lichtsinnstörungen und Erythropsie bei operierten Myopen. Dtsch. med. Beitr. z. Augenheilk. 1900. S. 464. — 83. *Pino, C.*, Een bijdrage tot de Kennis en een verklaring der Erythropsie. Nederl. T. f. Geneeskunde. I. 1022. 1902. — 84. Derselbe. De rol van het staafjespurper. Nederl. T. f. Geneeskunde. II. S. 140. — 85. Derselbe, Eine Erklärung der Erythropsie und der farbig abklingenden Nachbilder. Von Graefes Arch. f. Ophth. Bd. LVIII. S. 45. 1904. — 86. *Von Helmholtz*, Handbuch der physiolog. Optik. 1896. S. 480. — 87. *Purkinje*, Beiträge zur Kenntnis des Sehens in subjektiver Hinsicht. Prag. 1819. — 88. *Vogt*, Kritik der Abhandlungen von *Schanz* und *Stockhausen*. Arch. f. Augenheilk. LXIV. S. 344. 1909. — 89. — *Best*. Ueber die praktische Schädigung etc. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. 1909. 1. Bd. S. 520. — 90. Derselbe, Ueber die Schädigung des Auges etc. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. 1910. März. — 91. *Vogt*, Erwiderung auf die Arbeit von Prof. Dr. *Best*-Dresden: „Ueber die Schädigung des Auges durch ultra-

violette und Lichtstrahlen". Kin. Monatsbl. f. Augenheilk. XLVIII. Jahrg. 1910. — 92. *Chevreuil*, Comptes rendues de l'Académie des sciences. 1877. 34. Bd. pag. 889. — 93. *Cuignet*, Vision rouge. Rec. d'ophtalm. 1879. September. — 94. *Corum*, zit. bei *Widmark*. Beiträge zur Ophthalm. Leipzig. 1891. S. 419. — 95. *Coggins*, A case of Erythropsia. Boston. med. and surg. Journ. 1885. Bd. 113, S. 615. — 96. *Van Duyse*. Revue générale d'ophtalm. IV. Bd. 1885. S. 196. — 97. *Féré*, Bull. de la Soc. de Biologie. 1887. 24. Dez. — 98. *Westhoff*, Erythropsie bei Aphakie. Festbundel. Donders-Jubiläum. 1888. S. 256. — 99. *Geißler*, Beiträge zur Kenntnis der Erythropsie (Rotsehen) und verwandter Erscheinungen. Schmidts Jahrbücher. Bd. 208. S. 86. — 100. *Grove*, Philos. Mag. 1852 (4). III. pag. 435/6. — 101. *Hirschberg*, Ueber diabetische Netzhautentzündung. Dtsch. med. Woch. 1890. No. 51 und 52 (Fall 18). — 102. *Parinaud*, Annales d'ocul. Oktober 1894. — 103. *Kries*. Bericht der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau. IX. Bd. 2. H. — 104. *Parry*. Collection from the unpublished medical Writings. London 1823. pag. 560. — 105. *Reich*. Beitrag zur Lehre von Erythropsie und Xantho-Kyanopie. Wjestnik Ophthalmol. 1891. Bd. VIII. — 106. *Schmidt-Rimpler*, Augenheilkunde und Ophthalmoskopie. Berlin 1891. S. 375. — 107. *Schulin*. Erythropsie. Northwest Lancet. St. Paul. 1884/85. IV. pag. 317. — 108. *Scorceby*, Philos. Mag. 1854. (4). VIII. pag. 544. — 109. *Sinsteden*, Poggendorfs Annalen der Physik. Bd. 84. 1850. S. 45. — 110. *Tyrman*, Ein Beitrag zur Lehre von der Erythropsie. Dtsche. med. Zeitung. XII. 1885. S. 125. — 111. *Steiner*, Zur Kenntnis der Erythropsie. Wien. med. Presse. 1882. No. 44. — 112. *Schlösser*, Kasuistische Mitteilungen aus der Universitätsaugenklinik zu München. 1887 (Erythropsie bei Chorioretinitis centralis).

16 28A 53A 53C 66 78A 82 86 103B 106
107 111 116 121 131 136 141 142 146 161
166 171 0171 182 191 196 202 203B 221 228B
228C 246 256 261 272 278A 278B 278C 278D 281
286 291 292 296 0296 303 303A 303B 303D 0321
328B 351 357 386 428D 441 476 478A 478B 478C
478D 481 491 503A 511 512 513 516 517 521
0521 528A 528B 532 536 541 546 0546 547 553B
561 566 571 578A 578B 591